文章编号:1000-7601(2017)02-0031-08 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2017.02.06

垄作覆膜对川中丘区土壤物理性状和春玉米产量的影响

谢孟林,查 丽,郭 萍,王兴龙,马晓君,袁继超,孔凡磊
(四川农业大学农学院/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130)

摘 要: 采用大田试验,设置垄作覆膜(A1B1)、平作覆膜(A1B2)、垄作不覆膜(A2B1)、平作不覆膜(A2B2)4 个处理,研究垄作与覆膜对川中丘区春玉米田土壤物理性状和产量的影响。结果表明:地膜覆盖显著提高了丘陵旱地玉米生育前期耕层土壤水分和温度;垄作栽培显著降低耕层土壤容重,增大土壤总孔隙度和毛管孔隙度;垄作与覆膜措施相结合可有效改善土壤水热状况和物理结构。从玉米穗部性状和产量看,覆膜显著提高玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重,降低秃尖长,产量较不覆膜处理平均增加 20.2%。垄作对玉米穗部性状和产量的影响因覆膜与否而异。覆膜下,垄作较平作显著提高了穗粒数,降低了秃尖长,产量较平作增加 7.7%;不覆膜下,垄作则显著降低穗粒数、百粒重,产量较平作降低 12.6%。相关分析表明玉米产量与生育前期土壤温度和土壤含水量呈显著正相关关系。垄作覆膜通过提高玉米生育前期土壤温度和含水量,改善了耕层土壤物理性状,最终提高了玉米产量。

关键词: 垄作;覆膜;土壤水分;土壤温度;春玉米;川中丘区

中图分类号: S513;S152.7+5 **文献标志码:** A

Effects of different ridging and mulching measures on soil physical properties and yield of spring maize in hilly area of central Sichuan basin

XIE Meng-lin, ZHA Li, GUO Ping, WANG Xing-long, MA Xiao-jun, YUAN Ji-chao, KONG Fan-lei
(*Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan* 611130, *China*)

Abstract: Maize is one of the main grain crops in the hilly area of central Sichuan basin. However its spring maize production is constrained by low temperature and drought during the early growth stage. Plastic film mulching is an effective practice to improve soil temperature, soil water content and crop yield in rain-fed farming area. A field experiment was conducted with the aim to identify the effects of different ridging and mulching measures on soil physical properties soil temperature, soil water content, soil bulk density, soil porosity, soil capillary porosity and spring maize yield. The trial was a random block design with 3 replications and 4 treatments which included ridge planting with plastic film mulching (A1B1), flat planting with plastic film mulching (A1B2), ridge planting with no plastic film mulching (A2B1), flat planting with no plastic film mulching (A2B2). The results showed that film mulching effectively reduced the evaporation loss of soil water of topsoil(0 ~ 20 cm) during maize seedling and jointing stage and thus improved its soil water content which significantly improved the soil temperature at 0 ~ 20 cm soil layer during the early growth stage as well. Ridge planting reduced soil bulk density, increased soil total porosity and capillary porosity in topsoil (0 ~ 20 cm). Ridge planting had more marked effects in promoting improvement of the soil hydrothermal condition and physical structure when combined with film mulching. Compared with no plastic film mulching treatment, film mulching treatment significantly improved maize ear length, ear diameter, grains per spike, 100-grains weight, and reduced barren tip, and its maize yield increased by an average of 20.2%. The effects of ridge planting on maize ear traits and yield depended on mulching or not. When under mulching, ridge planting significantly improved the grains per spike, reduced the barren

收稿日期:2015-12-28
基金项目:国家自然科学基金(31301282);国家科技支撑计划项目(2012BAD04B13);四川省科技支撑计划项目(2014NZ0040)
作者简介:谢孟林(1993—),女,四川叙永人,在读硕士,主要从事作物高产耕作栽培技术研究。E-mail:2010xml@sina.com。
通信作者:孔凡磊(1985—),男,副教授,主要从事农作制度与作物生理生态研究。E-mail:kflstar@163.com。

tip, and its maize yield increased by 7.7% compared with flat planting; on the contrary, when under no mulching condition, ridge planting significantly reduced the grains per spike, increased the barren tip, maize yield reduced by 12.6% compared with flat planting. Correlation analysis revealed that maize yield had a significant positive correlation with soil temperature, soil water content in early growth stage. The results indicated that ridge planting with plastic film mulching treatment significantly improved the yield of maize by increasing the early soil temperature and soil water content and improving the soil physical structure, it may be considered one of the most efficient measures for high-yield spring maize cultivation in the hilly area of central Sichuan Basin.

Keywords: ridge planting; film mulching; soil water content; soil temperature; spring maize; hilly area of central Sichuan Basin

川中丘陵分布在四川盆地中部,是四川省玉米、小麦等粮食作物的主产区[1],玉米常年种植面积在60万 hm^2 以上,约占全省玉米种植面积的44%[2]。区内绝大多数旱地既无外来水源,也难取用地下水灌溉,为典型的雨养旱地[3]。全年降水主要集中在5—9月份,降雨时间分布不均,季节性干旱明显,冬春两季极易发生重旱、极旱[4]。耕作土壤主要是紫色土,耕地坡度在8℃以上,耕层较为浅薄,土质疏松,水土流失严重,保水、保肥能力较差[5-6],农作物生长受到严重制约[7]。

研究表明垄作开沟起垄可增大田间受光面积,提高作物光合能力,加厚作物生长的熟土层[8];使浅层土壤容重小于平作,孔隙度明显增加,为作物根系生长创造良好的环境[9-10]。地膜覆盖通过改善耕层土壤水肥气热状况进而改善作物生长的微生态环境,增温保墒作用显著,同时促进土壤有效养分的供应,显著提高玉米产量和水分利用效率[11-14]。有研究表明垄作在极干旱条件下,因其土壤水分蒸发量较大,抗旱力不及平作[15],但将垄作栽培与覆盖措施结合可充分发挥二者的优势[16-19]。李尚中等[16]认为,在西北干旱、半干旱区垄膜沟播能防止玉米苗期白天耕层土壤温度过度上升和晚上温度过度下降,并能把小于5 mm的无效降水转化为有效水分贮存于土壤中,提高降水利用率,平水年全膜双垄沟增产效应最佳,干旱年半膜双垄沟增产效应较好。肖继冰等[17]认为,在辽西半干旱区垄膜沟播可有效汇集天然降雨,使玉米出苗率提高,出苗时间提前,有效减轻春季干旱对春播保苗和幼苗生长造成的不利影响,使玉米产量和水分效率增加,且在干旱年份其效果更好。刘胜尧[18]等认为,华北旱地垄作覆膜措施增温效果显著,但随着后期气温的迅速升高,覆膜处理0~10 cm土层温度可达45℃,明显超过玉米根系发育35℃的适温阈值,同时膜内高温增加了土壤水分的蒸发潜势,通过苗孔、破洞的水分喷发反而会加重旱情,对玉米生产造成负面影响。谢文等[19]认为,在贵州黔西地区将垄作与覆盖结合可明显降低土壤容重、提高土壤孔隙度,同时提高土壤水分含量,使玉米产量明显提高。陈尚洪等[20]认为,全膜覆盖可显著提高川中丘区春玉米全生育时期的单株绿叶面积,通过协同提高春玉米干物质积累、营养器官干物质转运能力以及花后光合同化物积累量而获得较高产量,较对照增产15.02%~15.85%。

前人针对垄作与覆膜相结合种植技术的研究主要集中在北方干旱及半干旱等水分严重亏缺或积温不足等地区[16-18,21],而针对川中丘陵地区玉米垄作与覆膜的系统研究报道较少。故本研究针对川中丘陵降雨不均、季节性干旱明显、土壤耕层浅薄、紫色土保水保肥能力差等问题,设置垄作与覆膜方式的田间试验,研究垄作与覆膜对土壤物理特性(水热状况和土壤容重、孔隙度)和春玉米产量的影响,探讨垄作覆膜技术对川中丘陵旱地春玉米产量的影响机制,为该区春玉米高产栽培技术提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2014年4月—8月在四川农业大学简阳市英明村试验站(104°53′E,30°38′N,海拔750 m)开展,该地属亚热带湿润季风气候,年均降水量874 mm,年均气温17℃,年均无霜期300 d,年日照时数1 250 h,为典型的丘陵地形。供试土壤为紫色土,耕层(0~20 cm)土壤基本理化性状:土壤容重1.27 $g\cdot cm^{-3}$,全氮1.96 $g\cdot kg^{-1}$,有机质20.35 $g\cdot kg^{-1}$,碱解氮37.80 $mg\cdot kg^{-1}$,速效磷23.75 $mg\cdot kg^{-1}$,速效钾180.75 $mg\cdot kg^{-1}$,pH值7.70。春玉米为当地主要作物之一,熟制为一年一熟。2014年总降雨量为802.5 mm,为平水年,玉米生育期内降雨量为349.4 mm,具体降雨量分布见图1。

1.2 试验材料

供试作物为春玉米正红505,供试地膜为宽100

cm、厚 0.008 mm 的农用塑料地膜。

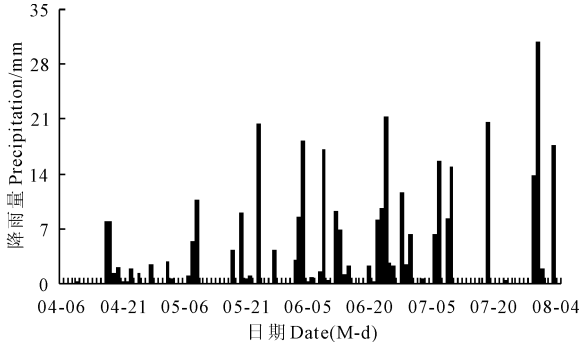


图 1　玉米生育期内降雨量分布

Fig.1　Precipitation distribution in maize growth period

1.3　试验设计

采用二因素随机区组试验设计,因素 A 为覆膜方式,设覆膜(A1)和不覆膜(A2)两个水平,因素 B 为种植方式,设垄作(B1)和平作(B2)两个水平,共 4 个处理:垄作覆膜(A1B1):垄宽 60 cm,垄高 15 cm,垄上覆膜后,种植 2 行玉米;垄作不覆膜(A2B1):垄宽 60 cm,垄高 15 cm,垄上种植 2 行玉米,垄上不覆膜;平作覆膜(A1B2):采用宽窄行平地种植,窄行上覆膜后种植 2 行玉米;平作不覆膜(A2B2):采用宽窄行平地种植 2 行玉米,窄行上不覆膜。

各处理 3 次重复,小区面积 20 m^2(5 m × 4 m)。采用直播方式播种,种植密度为 5.0×10^4 株·hm^{-2}。宽窄行种植,幅宽 2 m,宽行行距 160 cm,窄行行距 40 cm,株距 20 cm。施肥为 N 225 kg·hm^{-2}(尿素,46%),P_2O_5 60 kg·hm^{-2}(过磷酸钙,12%),K_2O 90 kg·hm^{-2}(氯化钾,60%),磷肥和钾肥作底肥一次性施入,氮肥 60% 作为底肥施入,40% 在大喇叭口期做追肥施入,其他管理同大田。试验于 4 月 6 日播种,其中覆膜处理先覆膜再播种,6 月 5 日(大喇叭口期)覆膜处理揭膜,8 月 5 日收获。

1.4　测定项目与方法

1.4.1　*土壤含水量*　于春玉米播前(04 – 06)、苗期(04 – 21)、拔节期(05 – 20)、大喇叭口期(06 – 05)、吐丝期(06 – 20)、灌浆期(07 – 20)、成熟期(08 – 05)采用烘干法[20]测定各处理 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 土层的土壤含水量。

土壤含水量(%) = [湿土重(w1) – 烘干土重(w)] ÷ 烘干土重(w) × 100

1.4.2　*土壤温度*　从春玉米苗期到成熟期,选择天气晴朗的一天在各处理小区两株玉米间用数显温度计测定 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 土层的土壤温度,分别在 6:00、8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00 测定,每个土层 3 次重复,各处理土层的日均温取当天各土层所有测定值的平均值。

1.4.3　*土壤物理性状*　于春玉米苗期(04 – 20)、大喇叭口期(06 – 05)、灌浆期(07 – 12)、成熟期(08 – 05)采用环刀法[22]测定各处理 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 土层的土壤容重和土壤毛管孔隙度。其中土壤毛管孔隙度的具体测定方法为:在方形磁盘中铺上 2 层纱布,并向盘中加入少许自来水,使水量刚好浸湿纱布,将装有土柱的环刀放入,使环刀盖上带小孔的一端平放在纱布上,再向盘中加水,水量以不漫过带小孔的环刀盖边缘为宜。使土柱吸水(12 h 以上),土壤毛管全部充满水分,取出称取环刀及充满毛管水的湿土重(m1)。将装有土柱的环刀置于已预热至 105 ± 2℃的烘箱中烘烤致恒重(12 h 以上),取出冷却后称取环刀及烘干土的重量(m2),同时量取空环刀的体积(v)。土壤毛管孔隙度(%) = (m1 – m2) ÷ v × 100 土壤总孔隙度通过公式计算获得:土壤总孔隙度(%) = (1 – 土壤容重/土壤比重) × 100。土壤比重取 2.65[20]。

1.4.4　*春玉米产量及穗部性状*　收获时各小区单独测产,每小区连续取 20 株,果穗自然风干后进行室内考种,测定穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重等指标。

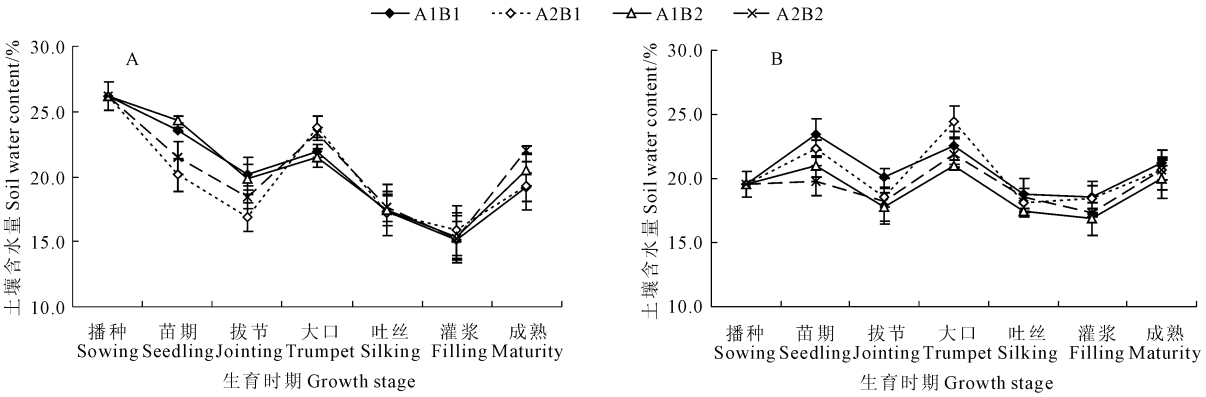
1.5　数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据处理及图表制作,DPS 7.05 软件进行差异显著性检验(LSD 法)与相关性分析。

2　结果与分析

2.1　垄作与覆膜对土壤含水量的影响

由图 2 可知,垄作覆膜主要影响玉米揭膜前土壤含水量,且对 0 ~ 10 cm 土层的影响较大,覆膜处理显著提高了玉米生育前期耕层土壤含水量,而垄作和平作处理间土壤含水量差异不显著。揭膜(大喇叭口期)前覆膜(A1)处理 0 ~ 10 cm 土层水分含量均显著高于不覆膜(A2)处理,苗期和拔节期的水分含量分别较不覆膜处理平均提高了 15.4% 和 13.2%。这主要是因为该时段降雨量较少,而玉米处于根系形态建成期,对水分的需求量较大,覆膜处理因有效减少了表层土壤水分的蒸发,而提高了土壤含水量。大喇叭口期因降雨土壤含水量有所上升,且不覆膜处理高于覆膜处理,这主要是由于地膜覆盖阻碍了雨水的下渗,且覆膜处理玉米前期生长较好,根系消耗土壤水分较多。



注:处理 A1B1:垄作覆膜;A2B1:垄作不覆膜;A1B2:平作覆膜;A2B2:平作不覆膜。下同。

Note: Treatments A1B1: ridge planting with film mulching; A2B1: ridge planting with no film mulching; A1B2: flat planting with film mulching; A2B2: flat planting with no film mulching. The same below.

图 2 各处理 0 ~ 10 cm(A)、10 ~ 20 cm(B)土层土壤含水量随生育时期的变化

Fig.2 The dynamics of soil water content in 0 ~ 10 cm(A), 10 ~ 20 cm(B) soil layer during the maize growing stage

垄作加厚了土层厚度,增大了土壤与外界的接触面积,与平作相比可接受更多的降水。由图 2B 可知全生育期垄作(B1)处理 10 ~ 20 cm 土层的土壤含水量均高于平作(B2)处理,尤其是揭膜前,苗期和拔节期垄作处理水分含量分别较平作处理平均提高了 12.3% 和 7.3%。这主要是由于垄作 10 ~ 20 cm 土壤疏松孔隙多,可容纳较多的水分,而平作 10 ~ 20 cm 土层未经扰动土壤紧实,水分含量较低。垄作覆膜处理土壤含水量总体较高,是因为覆膜能有效减少 0 ~ 10 cm 土层的土壤水分散失,而垄作提高了 10 ~ 20 cm 土层的贮水能力,垄作与覆膜相结合能有效提高耕层土壤含水量。

2.2 垄作与覆膜对土壤温度的影响

玉米生育前期土壤温度提高,有利于提高玉米出苗率和加快生育进程。从图 3 可以看出,土壤温度随着时间推移总体上呈现升高的趋势,在 6 月 22—29 日有所下降,是因为此时玉米进入吐丝期,叶面积指数增大,地面获得光照减少,且该时段降雨增多,故土温降低。垄作覆膜处理主要影响揭膜前土壤温度,揭膜后各处理间土壤温度差异不大。地膜覆盖显著提高了玉米生育前期土壤温度,揭膜前(06 – 05)覆膜处理土壤温度显著高于不覆膜处理,0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土壤温度均为 A1B1 > A1B2 > A2B2 > A2B1,在 0 ~ 10 cm 土层 A1B1 处理揭膜前平均土壤温度较 A2B1 处理高 2.1℃,A1B2 处理较 A2B2 处理高 1.4℃;在 10 ~ 20 cm 土层则分别提高了 1.5℃、1.0℃。土壤温度随着土壤深度的加深而下降,10 ~ 20 cm 土层的土壤温度较 0 ~ 10 cm 土层低。地膜覆盖的增温效应随着土层的加深而减弱,对表层土壤温度的提高作用明显。垄作不覆膜(A2B1)处理土壤温度较平作不覆膜(A2B2)处理低,而垄作覆膜(A1B1)处理增温效果最明显,在提高土壤温度方面表现出优越性。

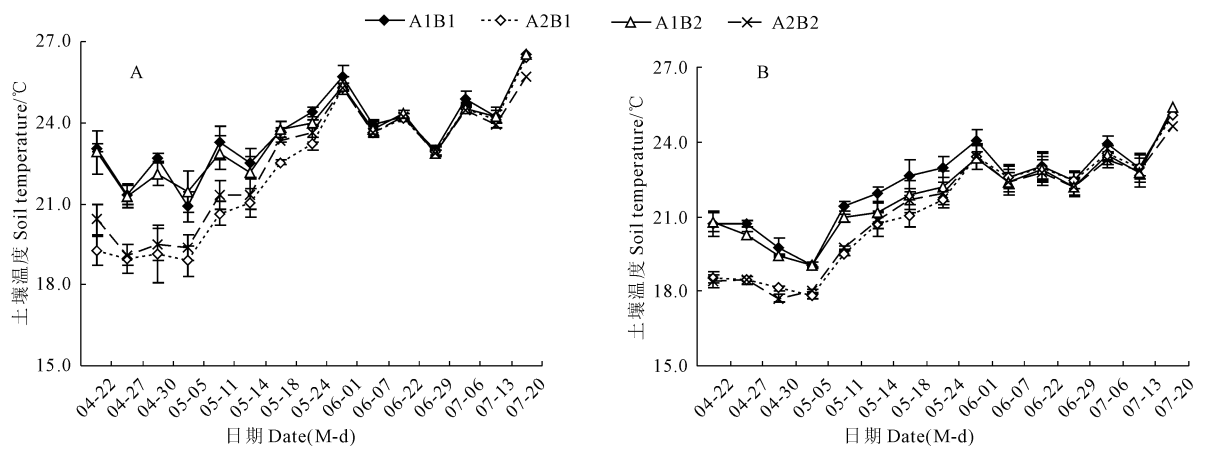


图 3 全生育期各处理 0 ~ 10 cm(A)、10 ~ 20 cm(B)土层土壤温度变化

Fig.3 The dynamics of soil temperature at 0 ~ 10 cm(A), 10 ~ 20 cm(B) soil layer during the maize growing stage

2.3　垄作与覆膜对土壤容重和孔隙度的影响

2.3.1　垄作与覆膜对土壤容重的影响　土壤容重是土壤质地、结构、孔隙度等物理性状的综合反映,容重的大小除受土壤内部性状的影响外,还与降水、耕作方式等有关。表 1 结果表明垄作显著影响玉米生育前期土壤容重,对生育后期土壤容重影响不显著,而覆膜对土壤容重的影响较小。垄作处理降低了玉米全生育期耕层土壤容重,4 月 20 日(苗期)和 6 月 5 日(大口期)0 ~ 10 cm 土壤容重较平作处理平均降低了 12.6% 和 10.4%,10 ~ 20 cm 则降低了 14.2% 和 8.3%,处理间差异均达显著水平($P < 0.05$);玉米生育后期垄作与平作间土壤容重差异逐渐缩小,但仍以垄作处理较低。其中大口期时因前一时段降雨较少而使土壤容重增大,后期(07 - 12)则因测定前几天降雨较多而使土壤容重有所减小,但整体来看均为垄作处理低于平作处理。

表 1　不同处理对不同土层土壤容重的影响/($g \cdot cm^{-3}$)

Table 1　Effects of different treatments on soil bulk density atdifferent soil layers

覆膜方式 Mulching modes	种植方式 Planting methods	0 ~ 10 cm				10 ~ 20 cm			
		04 - 20	06 - 05	07 - 12	08 - 05	04 - 20	06 - 05	07 - 12	08 - 05
A1	B1	1.20 b	1.32 b	1.22 a	1.26 a	1.32 b	1.39 b	1.40 a	1.42 a
	B2	1.40 a	1.45 a	1.28 a	1.29 a	1.57 a	1.52 a	1.46 a	1.47 a
	Mean	1.30 A	1.39 B	1.25 A	1.27 A	1.45 A	1.46 B	1.43 A	1.44 A
A2	B1	1.23 b	1.34 b	1.29 a	1.27 a	1.35 b	1.44 b	1.41 a	1.43 a
	B2	1.38 a	1.53 a	1.30 a	1.31 a	1.54 a	1.56 a	1.45 a	1.53 a
	Mean	1.30 A	1.44 A	1.30 A	1.29 A	1.45 A	1.50 A	1.43 A	1.48 A
F - value	A	0.01	6.78*	1.97	0.35	0.01	6.13*	0.01	1.36
	B	18.30**	61.05**	0.81	1.89	40.66**	43.28**	1.75	4.99
	A × B	0.28	2.55	0.49	0.01	0.66	0.18	0.19	0.46

注:同列数据后的不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平,大写字母表示 A1、A2 间差异达 5% 显著水平。** 和 * 分别表示在 1% 和 5% 水平下差异显著。处理 A1:覆膜;A2:不覆膜;B1:垄作;B2:平作。下同。

Note: Values followed by different lowercase letters in same column indicated the significant difference at 5% level respectively, and capital letters indicated the significant difference between A1 and A2 as well. ** and * indicated the significant difference at 1% and 5% level respectively. Treatments A1: film mulching; A2: no film mulching; B1: ridge planting; B2: flat planting. The same below.

2.3.2　垄作与覆膜对土壤总孔隙度的影响　土壤总孔隙度是土壤物理性质的主要组成部分,它关系到土壤水、热、气的流通与贮存状况,并影响着作物根系的生长。垄作显著提高了玉米生育前期土壤耕层总孔隙度,改善耕层土壤通透性,覆膜对土壤总孔隙度影响较小(表 2)。垄作处理增大了耕层土壤总孔隙度,且在 4 月 20 日和 6 月 5 日显著高于平作处理($P < 0.05$),两个时期垄作处理 0 ~ 10 cm 土壤总孔隙度较平作处理分别提高了 13.9% 和 13.3%,10 ~ 20 cm 则分别提高了 20.3% 和 11.6%。玉米生育后期垄作与平作间土壤总孔隙度差异不显著,但仍表现为垄作处理高于平作处理。

2.3.3　垄作与覆膜对土壤毛管孔隙度的影响　土壤毛管孔隙度反映了土壤持水量,其值越大,土壤涵养水源和保持水分的能力越强。由表 3 可知,与平作相比,垄作不同程度地提高了玉米各生育时期耕层土壤毛管孔隙度,覆膜对耕层土壤毛管孔隙度的影响不大,全生育期覆膜与不覆膜处理间土壤毛管孔隙度差异不显著。垄作对 10 ~ 20 cm 土层土壤毛管孔隙度的提高作用大于 0 ~ 10 cm 土层;垄作处理 4 月 20 日、6 月 5 日 10 ~ 20 cm 土层土壤毛管孔隙度显著高于平作处理($P < 0.5$),土壤毛管孔隙度分别较平作提高了 17.7%、17.6%。说明相较覆膜方式而言,种植方式对耕层土壤毛管孔隙度的影响作用较大,其中垄作明显提高玉米生育前期土壤毛管孔隙度。

2.4　垄作与覆膜对春玉米产量和穗部性状的影响

由表 4 可知,覆膜对玉米穗部各性状和产量的影响均达显著($P < 0.5$)或极显著水平($P < 0.01$),而垄作对玉米穗部性状和产量的影响不大;从交互作用看,垄作与覆膜对玉米秃尖长、百粒重的影响达显著水平,对穗粒数、产量的影响达极显著水平。与不覆膜处理相比,覆膜处理显著提高玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重,降低秃尖长,显著提高玉米产量,较不覆膜处理平均增产 20.2%。垄作对玉米穗部性状和产量的影响因覆膜与否而不同。覆膜下,垄作处理较平作处理显著提高穗粒数,降低秃尖长,玉米产量增加了 7.7%。不覆膜下,垄作处理较平

作处理显著降低穗粒数、百粒重，产量减少了12.6%。这主要是因为不覆膜情况下垄作处理前期田间土壤温度较低，土壤水分蒸发散失较大而影响了玉米的生长，造成玉米减产；而覆膜下垄作处理充分发挥了其改善土壤物理性状的优势，促进了玉米的生长，使玉米增产。可见将垄作与覆膜结合可改善玉米穗部性状，增加玉米产量。

表2 不同处理对不同土层土壤总孔隙度的影响/%

Table 2 Effects of different treatments on soil porosity at different soil layers

覆膜方式 Mulching modes	种植方式 Planting methods	0~10 cm				10~20 cm			
		04-20	06-05	07-12	08-05	04-20	06-05	07-12	08-05
A1	B1	54.72 a	50.06 a	53.71 a	52.58 a	50.06 a	47.67 a	47.29 a	46.54 a
	B2	47.30 b	45.41 b	51.69 a	51.32 a	40.63 b	42.52 b	44.78 a	44.53 a
	Mean	51.00 A	47.74 A	52.70 A	51.95 A	45.35 A	45.09 A	46.04 A	45.53 A
A2	B1	53.71 a	49.31 a	51.07 a	52.08 a	50.06 a	45.58 a	46.54 a	45.91 a
	B2	47.92 b	42.26 b	50.90 a	50.69 a	41.63 b	41.00 b	45.28 a	42.14 a
	Mean	50.82 A	45.79 B	50.82 A	51.39 A	45.41 A	43.29 B	45.91 A	45.03 A
F-value	A	0.01	6.78*	1.97	0.35	0.01	6.13*	0.01	1.36
	B	18.30**	61.05**	0.81	1.89	40.66**	43.28**	1.75	4.99
	A×B	0.28	2.55	0.49	0.01	0.66	0.18	0.19	0.46

表3 不同处理对不同土层土壤毛管孔隙度的影响/%

Table 3 Effects of different treatments on soil capillary porosity at different soil layers

覆膜方式 Mulching modes	种植方式 Planting methods	0~10 cm				10~20 cm			
		04-20	06-05	07-12	08-05	04-20	06-05	07-12	08-05
A1	B1	37.64 a	37.28 a	39.11 a	36.80 a	37.08 a	38.50 a	38.08 a	39.24 a
	B2	35.37 a	36.16 a	39.75 a	37.59 a	30.98 b	31.37 b	37.37 a	37.51 a
	Mean	36.51 A	36.72 A	39.43 A	37.20 A	34.03 A	34.94 A	37.73 A	38.37 A
A2	B1	36.53 a	35.85 a	39.52 a	36.79 a	37.94 a	35.42 a	39.15 a	38.21 a
	B2	35.53 a	33.03 a	40.00 a	38.68 a	32.74 a	31.45 b	38.22 a	37.19 a
	Mean	36.03 A	34.44 A	39.76 A	37.83 A	35.34 A	33.44 A	38.69 A	37.70 A
F-value	A	0.28	1.87	0.23	0.98	0.71	4.03	2.43	1.76
	B	3.40	1.40	0.67	3.91	13.25*	55.49**	1.76	7.35*
	A×B	0.51	0.26	0.01	0.53	0.08	4.51	0.03	0.48

表4 不同处理下的春玉米产量和穗部性状

Table 4 Yield and ear traits of spring maize under different treatments

覆膜方式 Mulching modes	种植方式 Planting methods	穗长 Ear length /cm	穗粗 Ear diameter /mm	秃尖长 Bare tip length/cm	行粒数 Kernels per row	穗粒数 Grains per spike	百粒重 100-grains weight/g	产量 Yield /(kg·hm^{-2})
A1	B1	20.4 a	53.9 a	2.0 b	42.5 a	702.6 a	27.1 a	9500.7 a
	B2	20.6 a	54.5 a	2.9 a	39.8 a	655.9 b	26.9 a	8821.9 b
	Mean	20.5 A	54.2 A	2.5 B	41.2 A	679.3 A	27.0 A	9161.3 A
A2	B1	18.3 b	52.3 a	3.3 a	33.4 a	573.1 b	24.8 b	7108.3 b
	B2	19.1 a	53.1 a	3.2 a	35.3 a	605.2 a	26.9 a	8133.0 a
	Mean	18.7 B	52.7 B	3.3 A	34.4 B	589.2 B	25.8 B	7620.7 B
F-value	A	18.22**	26.00**	18.30**	42.20**	119.49**	7.32*	155.18**
	B	1.29	5.92	4.78	0.15	0.78	5.34	1.96
	A×B	0.44	0.02	8.68*	4.92	22.85**	6.78*	47.43**

2.5　土壤物理特性与春玉米产量的关系

对玉米产量性状和揭膜前后的土壤物理性状进行相关分析,结果表明(表 5),玉米产量性状与揭膜前的土壤含水量和温度呈正相关关系,其中穗粒数、产量与土壤含水量和土壤温度均呈极显著正相关关系($P<0.01$);玉米产量性状与揭膜前后的土壤容重、土壤毛管孔隙度、土壤总孔隙度均无显著相关性。说明揭膜前的土壤温度和水分是影响川中丘区玉米产量的主要因素,玉米生育前期覆膜,有利于前期土壤温度和水分的提高从而使玉米产量增加。

表 5　土壤物理特性与春玉米产量性状的相关系数

Table 5　Correlation coefficients between soil physical properties and yield traits of spring maize

产量性状 Yield traits	揭膜前 Under mulching					揭膜后 No mulching				
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
百粒重 100-grains weight/g	0.43	0.52	0.23	-0.12	-0.23	0.29	-0.04	0.15	-0.28	-0.15
穗粒数 Kernels per spike	0.87**	0.84**	-0.07	0.38	0.07	0.08	0.53	-0.40	-0.26	0.40
产量 Yield	0.84**	0.86**	0.02	0.26	-0.02	0.16	0.40	-0.26	-0.30	0.26

注:Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ分别代表土壤含水量、温度、容重、毛管孔隙度、总孔隙度。

Note: Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ represented soil water content, temperature, bulk density, capillary porosity, porosity respectively.

3　讨　论

地膜覆盖在土壤表面设置了一层物理阻隔,可有效地抑制水分蒸发损失,明显提高耕层土壤含水量[23-24],同时提高耕层土壤温度[25],显著增加玉米生育前期的有效积温[26],从而加快玉米的生育进程[26-27]。研究表明垄作覆膜种植能显著提高地表温度[24-25,28],显著提高 5~10 cm 土层含水量,最大程度将天然降水蓄存在土壤中[28-29],正常情况下土壤水分为垄上覆膜 > 行间覆膜 > 垄上直播,雨后为垄上覆膜 < 垄上直播 < 行间覆膜[14]。垄作栽培一定程度上改善了土壤的物理性状,降低土壤容重,增加土壤总孔隙度[30]。本研究结果表明垄作覆膜处理显著增加了春玉米生育前期耕层的土壤温度和土壤含水量,在 0~10 cm 土层垄作覆膜处理揭膜前土壤含水量均保持较高水平,而在 10~20 cm 土层则是垄作覆膜与垄作不覆膜处理土壤含水量较高。可见地膜覆盖有效减少了表层土壤水分的散失,而垄作因改善了土壤物理结构而提高了 10~20 cm 土层的贮水能力,天气晴朗时垄作覆膜表现出较高土壤含水量,雨后则为垄作不覆膜处理表现最佳。与平作不覆膜处理相比,垄作不覆膜处理土壤温度降低,垄作覆膜与平作覆膜均明显提高玉米生育前期前期土壤温度,这主要是因为垄作增大了土壤表面积,在极干旱条件下,温度散失快,且土壤水分蒸发量较大,保温性和抗旱力不及平作,可见进行垄作栽培时应结合一定的覆盖措施以充分发挥二者的作用。川中丘陵地区早春温度较低,春玉米生育前期生长常受低温的抑制,而影响玉米出苗率和幼苗的生长,覆膜有利于增加积温,促进玉米苗期正常生长,保证出苗率与幼苗质量,但后期降雨增多,温度升高,覆膜处理阻止了雨水的入渗,且增温效应使温度过高而不利于玉米根系生长,故而选择在 6 月初春玉米大喇叭口期揭膜,以有效利用地膜覆盖的增温保墒效应,为春玉米的生长提供了有利的条件,为后期高产打下了基础。

大量研究表明,垄作栽培可促进玉米根系生长和干物质的积累,使叶面积指数前期增长快,后期下降慢,促进穗部性状发育,使秃尖长变短,穗粒数增加,千粒重提高,产量明显增加[10,31-32]。王敏等[33]认为,在渭北旱原区地膜覆盖显著提高玉米穗长、穗粗、行粒数及地上部干重,使产量显著增加。汤文光等[13]研究表明,在南方季节性干旱区地膜覆盖可提高玉米生长前期土壤温度,加快玉米生育进程,缩短生育期,使玉米提早成熟,有利于避害减灾;同时提高土壤含水量,缓解季节性干旱危害,实现玉米增产。陈尚洪等[21]研究认为地膜覆盖通过提高穗数和穗粒数来使玉米产量增加,Li 等[34]则认为地膜覆盖是通过提高玉米穗粒数和百粒重而显著提高玉米产量。本研究结果表明,地膜覆盖显著改善玉米穗部性状,覆膜处理穗长、穗粗、穗粒数、百粒重、均显著高于不覆膜处理,而秃尖长显著低于不覆膜处理,产量显著增加,其中垄作覆膜处理产量较平作覆膜处理高。垄作不覆膜处理玉米产量则显著低于平作不覆膜,与前人研究结果[10,31-32]存在分歧,主要是因为川中丘区早春低温干旱垄作不覆膜处理水分蒸发大,温度散失快,使土壤含水量和温度降低,幼苗生长发育受限制,而影响了后期玉米的生产。垄作覆膜因改善了土壤物理性状,明显提高耕层土壤水分含量和土壤温度,进而增加穗粒数和百粒重,使玉

米产量得到提高。

4 结 论

地膜覆盖可显著提高玉米生育前期耕层土壤水分和温度,具有显著的增产效应。垄作栽培可降低耕层土壤容重,增大土壤总孔隙度和毛管孔隙度,提高 10~20 cm 土层的贮水能力。垄作与覆膜结合既具有覆膜保温保水的作用,同时兼有垄作改善土壤结构的作用,可为作物生长提供良好的土壤条件,通过改善玉米穗部性状,增加穗粒数,降低秃尖长,最终显著提高玉米产量,表现出明显的增产优势。

参 考 文 献:

[1] 许武成,周 旭,徐邓耀.近 50 年川中丘陵区气候变化及与 ENSO 关系研究[J].高原山地气象研究,2008,28(1):52-56.

[2] 沈学善,陈尚洪,陈红琳,等.基于"3414"模型对川中丘陵区玉米氮磷钾效应的研究[J].西南农业学报,2012,25(6):2132-2137.

[3] 张建华,庞良玉.川中丘陵区玉米抗旱减灾技术[J].四川农业科技,2007,(11):23.

[4] 詹 存,梁 川,赵 璐.川中丘陵区季节性干旱时空分布特征及成因分析[J].农业工程学报,2013,29(21):82-90.

[5] 郭 跃.川中丘陵区土壤侵蚀的特征与行为方式[J].水土保持学报,2002,16(6):9-12.

[6] 杨瑞珍,陈印军,肖碧林.西南地区耕地质量下降的深层原因及政策建议[J].中国农学通报,2009,25(22):286-290.

[7] 朱 波,况福虹,高美荣,等.土层厚度对紫色土坡地生产力的影响[J].山地学报,2009,27(6):735-739.

[8] 王旭清,王法宏,任德昌,等.作物垄作栽培增产机理及技术研究进展[J].山东农业科学,2001,(3):41-45.

[9] 马 丽.垄作栽培对夏玉米土壤理化性状的影响[J].广东农业科学,2013,40(14):67-69,74.

[10] 周苏玫,李潮海,常思敏.起垄栽培对夏玉米生态环境及生长发育的影响[J].河南农业大学学报,2000,34(3):206-209.

[11] 赵久然,王荣焕.30 年来我国玉米主要栽培技术发展[J].玉米科学,2012,20(1):146-152.

[12] 刘晓伟,何宝林,郭天文.半干旱地区玉米覆膜方式研究[J].玉米科学,2012,20(2):107-110.

[13] 汤文光,唐海明,肖小平,等.不同保水措施对南方季节性干旱区春玉米的影响[J].中国农业科技导报,2011,13(3):102-107.

[14] 于永梅,李艳杰,何小华,等.玉米大垄行间覆膜栽培技术的研究初报[J].玉米科学,2006,14(1):146-148.

[15] 刘刚才,张先婉,曾觉廷,等.川中丘陵区垄作土壤抗旱机理的研究[J].土壤通报,1997,(6):9-11.

[16] 李尚中,王 勇,樊廷录,等.旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J].中国农业科学,2010,43(5):922-931.

[17] 肖继兵,孙占祥,蒋春光,等.辽西半干旱区垄膜沟种方式对春玉米水分利用和产量的影响[J].中国农业科学,2014,(10):1917-1928.

[18] 刘胜尧,张立峰,李志宏,等.华北旱地覆膜春玉米田水温效应及增产限制因子[J].应用生态学报,2014,25(11):3197-3206.

[19] 谢 文,潘木军,翟均平.不同垄作覆盖栽培对土壤理化性状耗水特性和玉米产量的影响[J].西南农业学报,2007,20(3):365-369.

[20] 陈尚洪,陈红琳,沈学善,等.不同覆盖方式对川中丘陵区春玉米干物质积累与转运的影响[J].干旱地区农业研究,2013,(5):74-78,172.

[21] Bu LD, Liu JL, Zhu L, et al. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region[J]. Agricultural Water Management, 2013,123:71-78.

[22] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2000,12:22-24.

[23] 员学锋,吴普特,汪有科.地膜覆盖保墒灌溉的土壤水、热以及作物效应研究[J].灌溉排水学报,2006,25(1):25-29.

[24] Zhou LM, Li FM, Jin SL, et al. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2009,113(1):41-47.

[25] 李 兴,程满金,勾芒芒,等.黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J].生态环境学报,2010,(1):218-222.

[26] 李建奇.地膜覆盖对春玉米产量、品质的影响机理研究[J].玉米科学,2008,16(5):87-92.

[27] 宋淑亚,刘文兆,王 俊,等.覆盖方式对玉米农田土壤水分、作物产量及水分利用效率的影响[J].水土保持研究,2012,19(2):210-212,217.

[28] 汤瑛芳,高世铭,王亚红,等.旱地马铃薯不同覆盖种植方式的土壤水热效应及其对产量的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):1-7,13.

[29] 王同朝,卫 丽,王 燕,等.夏玉米垄作覆盖对农田土壤水分及其利用影响[J].水土保持学报,2007,21(2):129-132.

[30] 郑 飞,孙向辉,邵运辉,等.垄作栽培对冬小麦根系及其发育环境的影响[J].河南农业科学,2005,(5):11-14.

[31] 马 丽,刘天学,韩德果,等.垄作对冬小麦、夏玉米产量和水分利用效率的影响[J].核农学报,2010,24(5):1062-1067.

[32] 许海涛,许 波,王友华,等.垄作宽窄行栽培对夏玉米生理指标及产量构成因子的影响[J].湖南农业科学,2008,(3):49-51.

[33] 王 敏,王海霞,韩清芳,等.不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J].作物学报,2011,37(7):1249-1258.

[34] Li R, Hou XQ, Jia ZK, et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau of China[J]. Agricultural Water Management 2013,116:101-109.