DOI: 10.5846/stxb201501200167
王红丽,张绪成,于显枫,马一凡,侯慧芝.黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响.生态学报,2016,36(16): - .
Wang H L, Zhang X C, Yu X F, Ma Y F, Hou H Z.Effect of using black plastic film as mulch on soil temperature and moisture and potato yield .Acta Ecologica Sinica,2016,36(16): - .

黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响

王红丽[1],张绪成[1,2,*],于显枫[1],马一凡[1],侯慧芝[1]
1 甘肃省农业科学院旱地农业研究所,兰州 730070
2 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室,兰州 730070

摘要:以马铃薯为研究材料,采用随机区组设计,设全膜覆盖垄沟种植(whole field surface plastic mulching and planting on ridge, PM)和裸地平作(CK)两个处理,研究西北半干旱区黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响。结果表明:PM 能增加马铃薯全生育期 0—25 cm 土壤温度 1.5℃左右,增温效应呈"抛物线型";盛花期 PM 增温效果主要在 8:00,14:00 和 20:00 具有降温和稳定地温作用;同时,在平水年和欠水年,PM 能促进马铃薯盛花期和薯块膨大期耗水,盛花期 PM 耗水量增加 21.2%—50.5%,块茎膨大期增加 5.4%—57.9%,但全生育期耗水量 PM 与 CK 差异不显著;PM 在调节地温、促进关键生育期耗水作用下,产量较 CK 提高 13.6%—64.5%,WUE 提高 24.1%—69.5%,差异均达显著水平。在年均降水 391.4 mm 条件下,连续 4 年地膜覆盖高产种植的 0—200 cm 土层土壤贮水量增加了 123.4 mm,优化了土壤水分状况。

关键词:黑色地膜;覆盖;土壤水热效应;马铃薯;产量

Effect of using black plastic film as mulch on soil temperature and moisture and potato yield

WANG Hongli[1], ZHANG Xucheng[1,2,*], YU Xianfeng[1], MA Yifan[1], HOU Huizhi[1]
1 *Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *China*
2 *Key Laboratory of High Water Utilization on Dryland of Gansu Province, Lanzhou* 730070, *China*

Abstract: Potato is the main economic and staple food crop in the semiarid loess region of Northwest China. Potato productivity in this area is low because of water shortage and low temperatures in early spring. The use of plastic mulch captures evaporating water, thus suppressing evaporation and maintaining soil moisture. This significantly improves the rainfall-use efficiency, allows the full utilization of light and heat resources, and significantly increases the yield in wheat, corn, and other crops. However, potato plantings covered with transparent plastic film will suffer high temperature stress in the late growth stage, which will restrict further growth and reduce yield. Black plastic film, however, has low transmittance and therefore allows less radiant heat to reach the soil surface. Hence, the soil warming magnitude of black plastic film is smaller than that of the transparent film. This prevents significantly the adverse effects of high temperature on potato and in turn increases potato yield. Potato plantings have been widely mulched with black plastic film by farmers in dryland in the central and eastern parts of the Gansu Province, China. They have also reported the water-saving effects and increased yield in potato that has been mulched with black plastic film. However, systematic studies on the mechanisms of black plastic film mulching that are responsible for the increased potato yield are still lacking. In particular, there is no research on the effects of black plastic film mulching on soil temperature and soil moisture dissipation. Therefore, the aim of this study was to reveal the effects of black film mulching on soil temperature, soil moisture, and potato yield in the semiarid area of

基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(201203031);国家科技支撑计划(2015BAD22B04)
收稿日期:2015-01-20; **网络出版日期**:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: gszhangxuch@163.com

Northwest China and to explore the mechanisms responsible for increased crop yield and sustained soil moisture. This study will provide the theoretical support for high yield and high efficiency and contribute to the development of ecologically sound potato cultivation techniques. Potatoes were grown over a four-year period in a randomized block design experiment with two treatments. The two treatments were as follows: 1) whole field surface mulched with black plastic and planting on ridge (PM) and 2) surface uncovered and flat planting (CK). The results showed that the PM treatment increased the average soil temperature by 1.5 ℃ in the top 0—25 cm of soil profile compared to the temperature in the CK treatment. During the flowering stage of the potato, the soil temperature under the PM treatment was increased at 08:00, decreased at 14:00, and stabilized at 20:00 compared to the temperature in the CK treatment. In dry years and years with an average rainfall, PM treatment promoted water consumption during the flowering and tuber expanding stage of potato. PM treatment increased water consumption by 21.2—50.5% during the flowering stage and by 5.4—57.9% during the tuber expanding stage, but soil water consumption during the whole growth period was not significantly different between the PM and CK treatments. Because of soil temperature regulation and increased soil water consumption during the critical growth periods, the PM treatment significantly increased potato yield by 13.6—64.5% and water use efficiency by 24.1—69.5% compared with the CK treatment. PM treatment increased potato production continuously and increased the soil water stored in the 0—200 cm of the soil by 123.4 mm over 4 years (the average annual rainfall was 391.4 mm). Potato culture with black plastic mulching increased crop productivity and optimized soil water status when compared with control plots.

Key Words: black film; mulching; soil temperature and moisture; potato; yield

陇中半干旱区降水稀少,气候干燥,蒸发强烈[1],水资源短缺是该区农业生产的主要限制因子[2]。地膜覆盖能够显著降低棵间蒸发而改善土壤水热状况,明显改善旱地作物的生长发育状况,提高降水利用效率和作物产量[3-6]。对于喜温作物而言,它实现了土壤水分和温度对作物发育的协同作用。但是,对于马铃薯等喜凉作物而言,透明地膜覆盖造成的土壤温度过高会对其生长形成胁迫[7-8]。研究显示通过改变覆盖材料来适当降低土壤温度和保持土壤水分,从而使土壤微环境更适宜于马铃薯的生长,可提高马铃薯生产对自然资源的利用效率[9]。

马铃薯为西北半干旱区主栽作物,2006 年以前一直采用露地种植,本试验所在区域甘肃省定西市 2006 年开始试验干旱半干旱地区透明地膜覆盖种植马铃薯,并获得一定程度增产。但问题逐步显现,一方面马铃薯薯块膨大期地温高导致马铃薯产量不稳,甚至减产;另一方面透明地膜覆盖薯块变绿,影响商品性和品质。因此,2009 年开始,本试验区马铃薯种植全部采用黑色地膜,其透光率低,辐射热透过少,土壤增温幅度较透明膜小,能防止高温对作物的不良影响、抑制杂草生长并防止马铃薯变绿。研究表明,黑色地膜覆盖能显著增加马铃薯产量并显著提高 WUE [10-11]。目前对黑色地膜覆盖后的节水效应和产量效应已有报道,但对黑色地膜覆盖后的增产机制研究甚少。本研究以马铃薯为试验材料,以黑色地膜覆盖和露地为处理,从土壤温度和水分耗散过程入手,在马铃薯全生育期测定土壤温度和土壤含水量,测定马铃薯产量并计算其水分利用效率和耗水深度,揭示黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响,探明其增产机制及其对土壤水分年际持续性的影响,为进一步探讨旱作区高产高效、生态安全的栽培技术体系提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验于 2011—2014 年在甘肃省定西县唐堡试验站进行。该区海拔 1970m,年均气温 6.2℃,年辐射总量 5898MJ · m^{-2},年日照时数 2500h,≥10℃积温 2075.1℃,无霜期 140d,属中温带半干旱气候。作物一年一熟,无灌溉,为典型旱地雨养农业。年均降水总量为 415mm,6—9 月降水量占年降水的 68%,降水相对变率为 24%,400mm 降水保证率为 48%。试验区土壤为黄绵土,0—30cm 土层平均容重 1.25g · m^{-3},永久凋萎系数为 7.5%。4 年试验期间降水及气温变化见图 1,2011 年马铃薯全生育期内降水 283.5mm,为欠水年。2012 年马

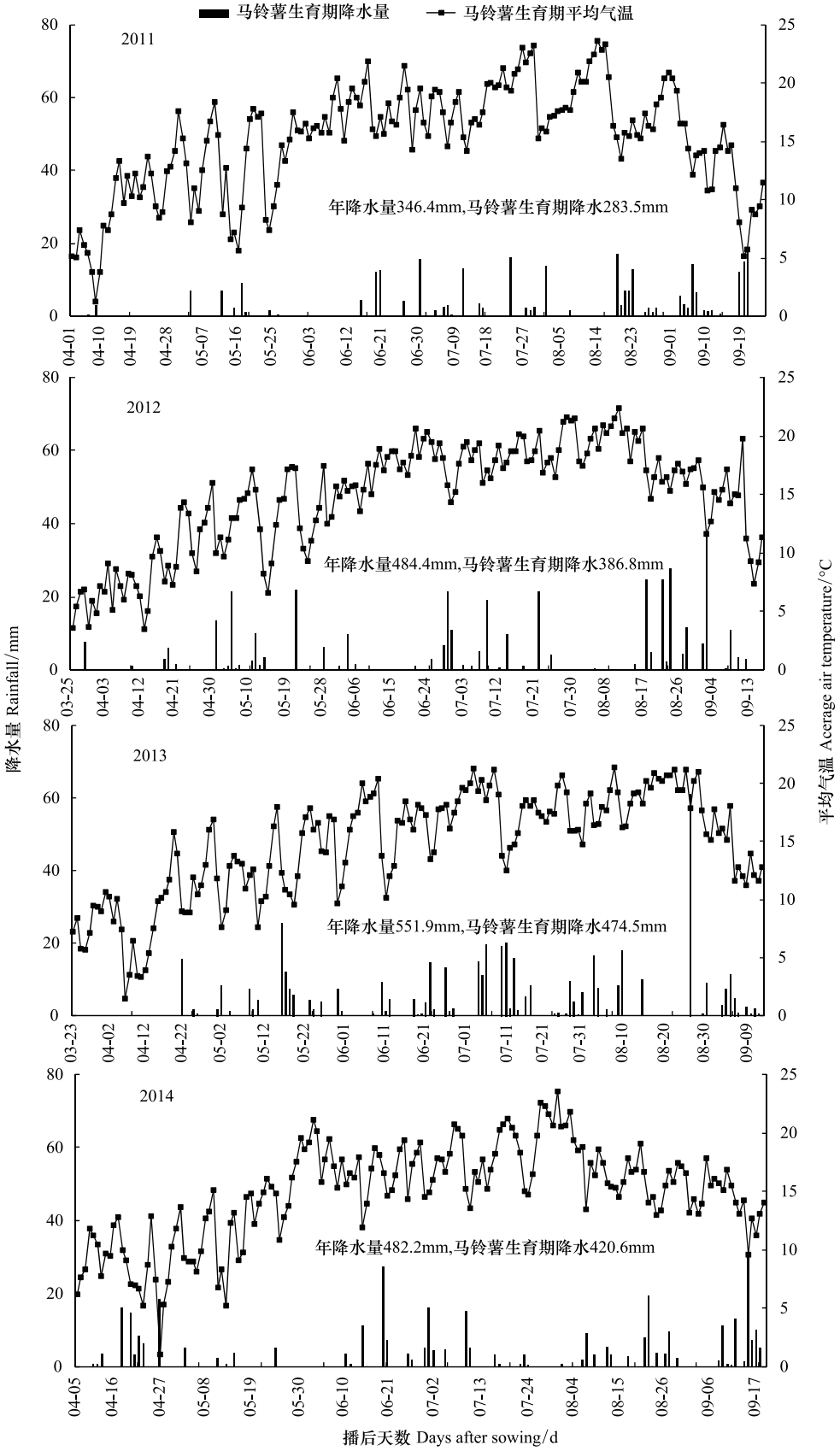


图 1　马铃薯生育期降水和气温变化

Fig.1　Dynamic of precipitation and average air temperature during the growth stages of potato

铃薯全生育期降水 386.8mm,主要集中在 5、6、7、8、9 月份,为平水年。2013 年马铃薯全生育期降水 474.5mm,5 月份、7 月份和 8 月份降水均高于往年同期,为丰水年。2014 年马铃薯全生育期降水 420.6mm,4、6、8、9 月份降水多,但 7 月份降水仅 34.1mm,此时正值全年气温最高时段,作物受干旱胁迫严重,为季节性干旱平水年。试验 4 年间,2011 年马铃薯生育期平均气温最高,后三年基本相同,其中 2011 年和 2014 年 7 中下旬(马铃薯花期)平均气温基本相同,较 2012 年平均高 0.7℃,较 2013 年平均高 2.1℃。

1.2 试验设计

试验以马铃薯(*Solanum tuberosum*)为研究材料,品种为"新大坪",采用随机区组设计,设全膜覆盖垄沟种植(Whole field surface plastic mulching and planting on ridge, PM)和裸地平作(Uncovered and flat planting, CK)两个处理,每处理 4 次重复,全部采用宽窄行种植,即宽行行距 60cm,窄行行距 40cm,以利于通风透光。全膜覆盖垄沟种植方式为全地面覆膜,起单垄,垄宽 60 cm,高 15cm,沟宽 40 cm,马铃薯种植在垄的两侧,详见图 2;裸地平作地面不覆膜不起垄,马铃薯直接点播。小区面积 6 m×7.5 m=45m^2,种植密度 48500 株/ hm^{2}公顷。施肥量为有机肥 15000kg/ hm^{2}公顷,尿素 375kg/ hm^{2}公顷,过磷酸钙 750kg/ hm^{2}公顷,肥料在播前作为底肥一次施入。2011 年 4 月 18 日播种,9 月 23 日收获;2012 年 4 月 19 日播种,9 月 25 日收获;2013 年 4 月 13 日播种,10 月 10 日收获;2014 年 4 月 20 日播种,10 月 8 日收获。马铃薯全生育期不灌溉,如马铃薯点播穴孔处有杂草,用手拔除,不进行其他田间管理。

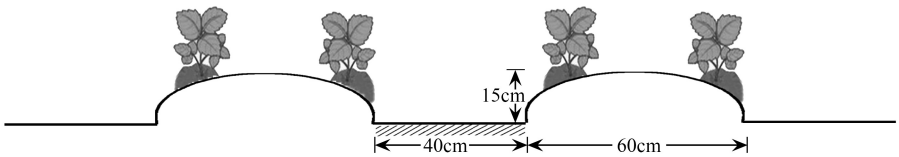


图 2 马铃薯全膜覆盖垄沟种植示意图

Fig.2 Schematic diagram of whole field plastics mulching and planting in dicth of patato

1.3 测定项目及方法

1.3.1 地温 参考 Cook 等(2006)[12]的方法,在马铃薯生长全生育期用地温计在垄上两株马铃薯植株间进行 0 —25cm 地温测定,每 5cm 为一个测定层,每小区测定一个位点,定点测定。每 10—15 天在 8:00、14:00、20:00 各测定一次,分析时取平均值。

1.3.2 土壤含水量测定及计算方法

在马铃薯全生育期用烘干法测定 0—200cm 土层土壤含水量,每 20 cm 为一个层次,在垄上两株马铃薯之间测定,下次测定时换一位点,平均每 10 —15 天每小区测定一次。

土壤贮水量计算公式:*SWS*(*Soil water storage*)(mm)= $W_S \times b \times d$ 式中,W_S为土壤重量含水量;b 为土壤容重;d 为土壤深度。

1.3.3 水分利用效率计算

$WUE = Y_d / ET$,Y_d为作物单位面积产量;$ET = SWS_{BF} - SWS_{HA} + P$ 式中,SWS_{BF}为播前贮水量;SWS_{HA}为收获后贮水量;P 为生育期降水量

1.3.4 耗水深度计算

耗水深度计算:$(SWS_i - SWC_b) / SWC_b < 5\%$时,认为该土层土壤水分没有被耗散。式中,$SWS_i$为某一土层土壤含水量(%);$SWS_b$为播前对应土层土壤含水量(%)。

1.3.5 产量

马铃薯成熟后及时收获,收获后立刻称鲜重,每小区产量按实收鲜重计产。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 和 DPS 统计软件对数据进行统计分析,并用 LSD 法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　0—25cm 土壤平均温度变化

黑色地膜全地面覆盖使马铃薯全生育期地温增加,但在马铃薯不同生育时期增温效果不同(图 3)。马铃薯播种到出苗(4 月中下旬—5 月中下旬),全膜覆盖垄沟种植(PM)0—25cm 土层平均地温 4 年平均较裸地平作(CK)增加 0.8℃;出苗到现蕾期(5 月中下旬—6 月中下旬)平均增温 1.3℃;现蕾期到开花期(6 月中下旬—7 月上旬)平均增温 1.8℃;开花期到块茎膨大期(7 月中下旬—8 月中旬)平均增温 2.3℃;薯块膨大期到淀粉积累期(8 月下旬—9 月中上旬)平均增温 1.9℃;成熟期(9 月下旬—10 月上旬)平均增温 2.0℃。黑色地膜覆盖增温幅度呈先增大后减少的"抛物线型"变化趋势,原因是马铃薯地上干物质较为矮小,种植密度不大,对地面遮阴较弱,受太阳辐射影响大,从马铃薯播种到收获,太阳辐射强度呈先增强后减弱的变化,黑色地膜覆盖增温效果与此趋势一致。

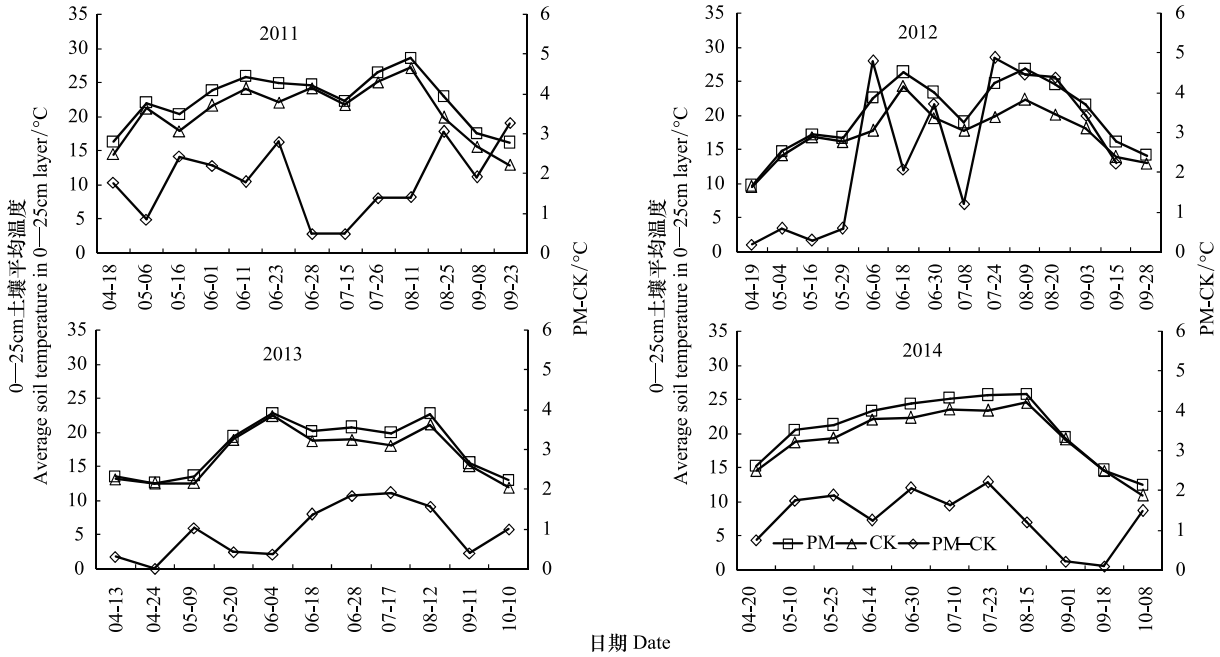


图 3　黑色地膜覆盖对 0—25cm 平均土壤温度的影响

Fig.3　Effect of black film mulching on soil average temperature in 0—25 cm layer

PM:全膜覆盖垄沟种植 whole field surface plastic mulching and planting on ridge;CK:裸地平作 uncovered and flat planting;PM-CK:PM 与 CK 温度差,即 PM 增温幅度 Temperature difference between PM and CK

2.2　不同时间和深度土壤温度的变化

黑色地膜覆盖后,马铃薯苗期、现蕾期、盛花期、薯块膨大期和淀粉积累期在 8:00、14:00、20:00 温度效应有明显差异(图 4,图 5,图 6,图 7)。8:00, PM 0—25 cm 土层增温效果自上而下逐渐减弱。苗期 PM 增温幅度较小, 5—10 cm、10—15 cm、15—20 cm、20—25 cm 土层分别增温 1.6℃、0.8℃、0.6℃和 0℃;现蕾期除 2011 年外,其他年份此期基本不增温,这与试验四年气温变化不同有关。盛花期为全年气温最高时段,此时 PM 增温主要在 20cm 以上土层,5—10 cm、10—15 cm、15—20 cm 土层分别增温 2.0℃、2.0℃、1.1℃;薯块膨大期增温幅度均在 1.0℃以下;淀粉积累期增温效果重现,5—25 cm 土层增温均在 1.8℃左右;0—5 cm 土层由于与外界热量交换强烈,PM 增温效果无一定规律。

14:00,与 CK 相比,PM 马铃薯盛花期各土层地温均降低,其他生育期均有不同程度增温且增温效果 5—25cm 土层自上而下呈逐渐减弱趋势。苗期 PM 增温主要在 15cm 以上土层,平均增温 2.0℃;现蕾期增温效果弱于苗期,除 5—10cm 土层外,增温效果均在 1.0℃以下;盛花期 PM 各土层地温均低于 CK,降温主要表现在

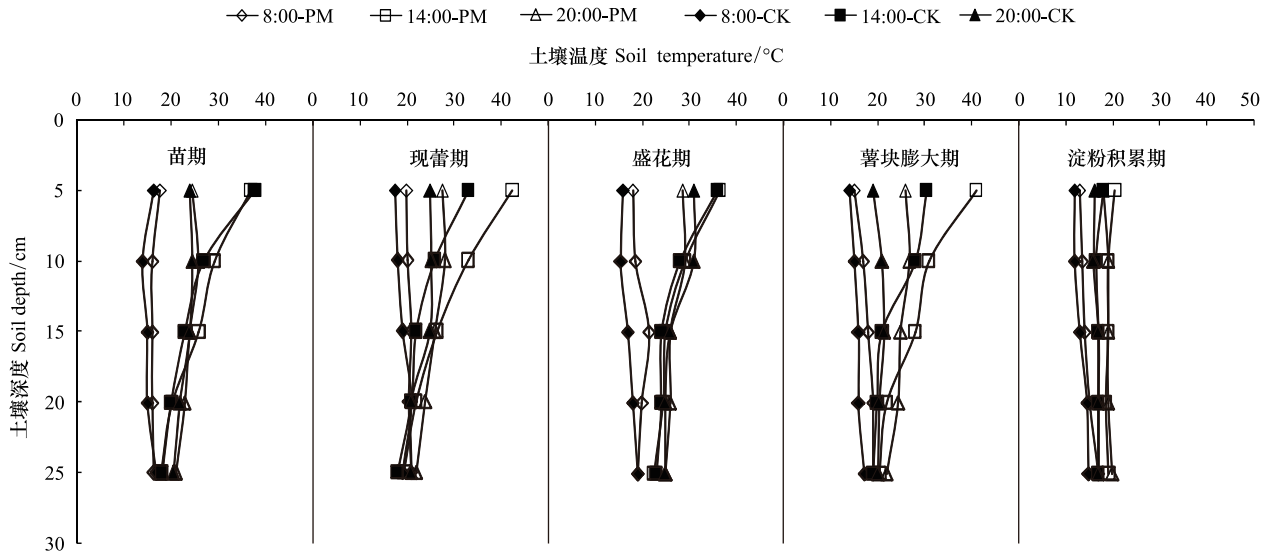


图 4 2011 年不同时间和土层土壤温度变化

Fig.4 Dynamic of soil temperature at different time and soil layer in 2011

20cm 以上土层,其中 0—5cm、5—10cm、10—15cm、15—20cm 降温幅度分别为 5.7℃、3.4℃、2.3℃和 1.0℃;薯块膨大期增温效果重现,5—10cm、10—15cm、15—20cm、20—25cm 分别增温 3.3℃、4.0℃、2.5℃、0.9℃;淀粉积累期分别增温 2.4℃、1.7℃、1.0℃、1.5℃,增温效果减弱。0—5cm 土层由于与外界热量交换强烈,PM 增温效果无一定规律。

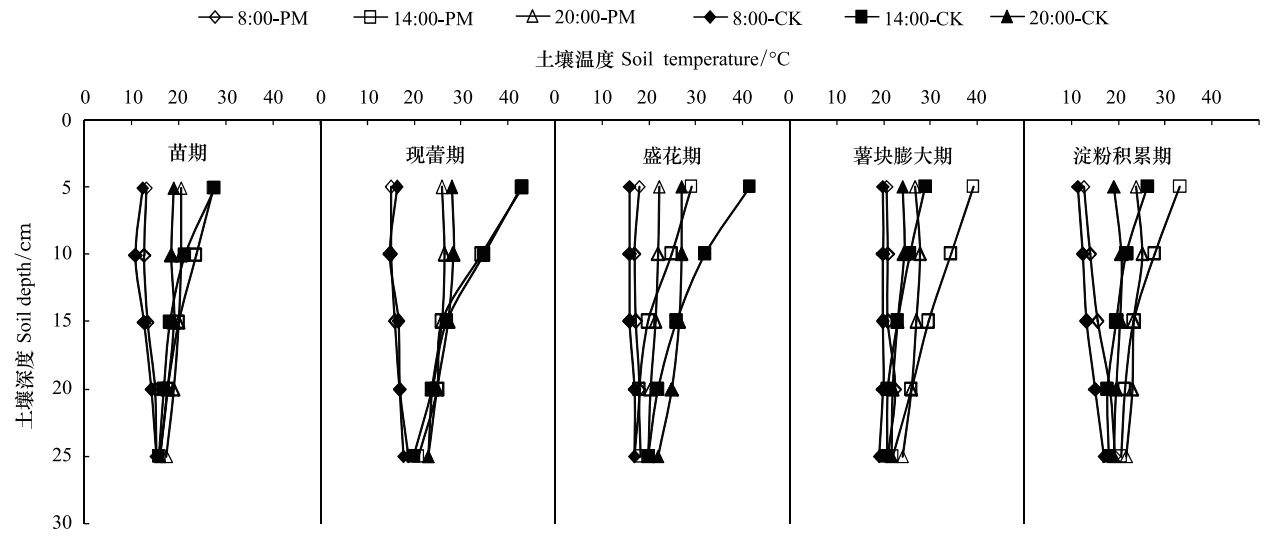


图 5 2012 年不同时间和土层土壤温度变化

Fig.5 Dynamic of soil temperature at different time and soil layer in 2012

20:00,盛花期 PM 表现为降温效应,其他生育期均不同程度增温。苗期 PM 增温效果较 14:00 有所减弱,5—10cm、10—15cm、15—20cm、20—25cm 土层分别增温 1.8℃、1.1℃、1.1℃和 1.2℃;现蕾期 PM 与 CK 各土层土壤温度无差异;盛花期 PM 各土层地温均低于 CK,降温效果从上到下递减,降温幅度 0.6℃—2.8℃;薯块膨大期 5—25cm 各土层分别增温 2.9℃、2.4℃、2.5℃、1.3℃;淀粉积累期分别增温 2.7℃、2.1℃、2.8℃、2.4℃。(图 4)。

黑色地膜覆盖后,马铃薯盛花期虽处在全年气温最高时段,但增温效应只出现在 8:00,14:00 和 20:00 均

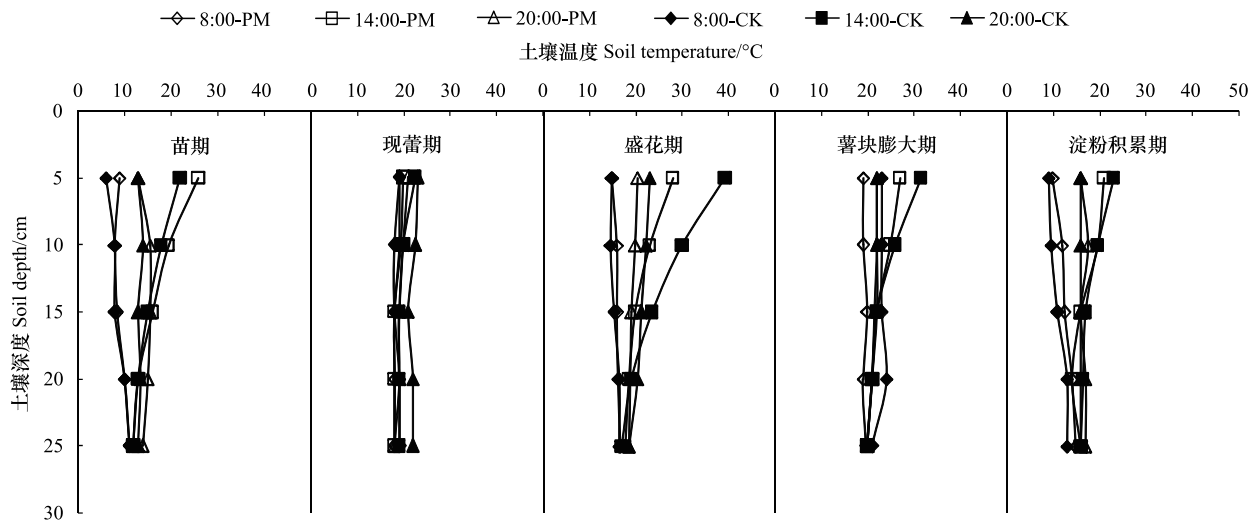


图 6　2013 年不同时间和土层土壤温度变化

Fig.6　Dynamic of soil temperature at different time and soil layer in 2013

具有降温作用,避免了马铃薯关键生育期高温胁迫;另一方面黑色地膜覆盖在盛花期稳定地温的作用对马铃薯薯块膨大创造了适宜的条件,对马铃薯产量提高奠定了基础。

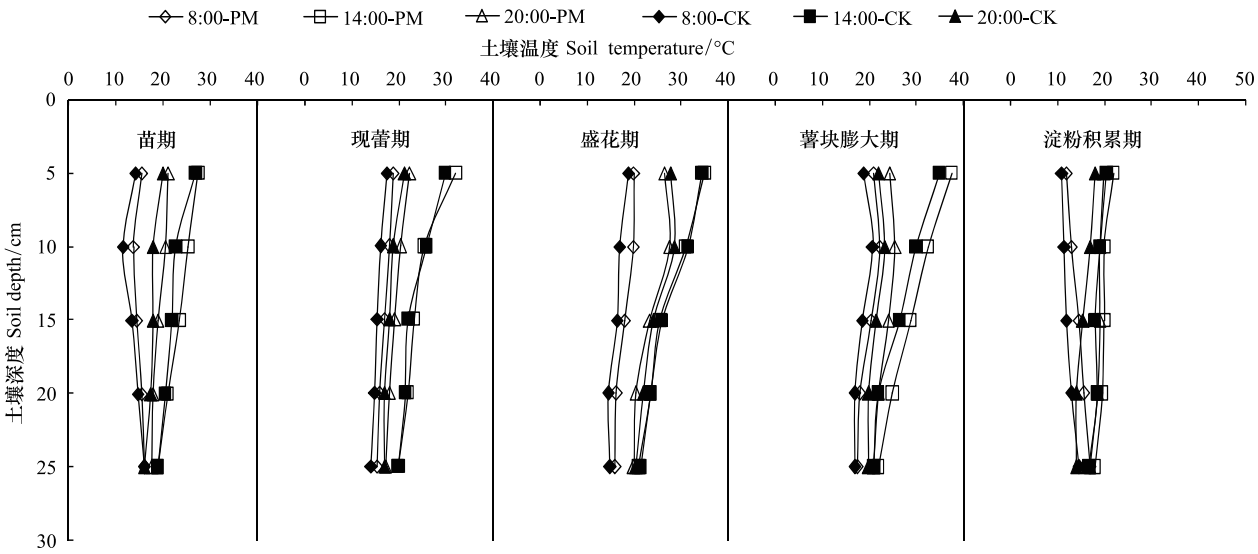


图 7　2014 年不同时间和土层土壤温度变化

Fig.7　Dynamic of soil temperature at different time and soil layer in 2014

2.3　马铃薯不同生育期土壤水分状况和耗水深度

黑色地膜覆盖对马铃薯现蕾期、盛花期和薯块膨大期土壤水分状况有显著影响,并与当年降水分布密切相关(图 8,表 1)。虽然试验 4 年降水分布不同,但马铃薯现蕾前降水均较少,且降水多为 10mm 以下无效降水,马铃薯生长几乎全部依赖土壤水分,因此马铃薯现蕾期 0—200 cm 土壤贮水量均有不同程度减少,其中 2011 年 PM 0—200cm 贮水量较播前减少 45.0mm,水分耗散深度为 80cm,CK 减少 51.9mm,水分耗散深度为 140cm;2012 年由于现蕾前降水多于其他年份,土壤水分补给较多,PM 和 CK 均只消耗 20—60cm 土壤水分,其中 PM 20—60cm 土层土壤贮水量较播前减少 12.1mm,CK 减少 2.2mm,PM 和 CK 耗水深度均为 60cm;2013 年 PM 0—200cm 贮水量减少 27.8mm,CK 减少 45.6mm,PM 耗水深度 60cm,CK 耗水深度 80cm;2014 年现蕾前降水亦较多,PM 和 CK 0—200cm 土壤贮水量分别较播前减少 30.5mm 和 23.0mm,耗水深度均为 100cm。

可见,在干旱条件下(2011 年和 2013 年现蕾前)CK 土壤水分散失较 PM 更多,原因是 CK 地表裸露,在干燥条件下蒸发更为强烈。

随马铃薯生育进程的推进,降水逐渐增多同时马铃薯对水分利用逐步加快,进入盛花期,2011 年、2012 年和 2014 年均表现为 PM 0—200cm 土壤贮水量减少幅度大于 CK,可见 PM 能促进马铃薯盛花期对土壤水分的利用。2011 年盛花期 PM 0—200cm 贮水量较播前减少 75.8mm,水分耗散深度为 140cm,CK 减少 54.0mm,水分耗散深度为 140cm;2012 年 PM 和 CK 不仅消耗了现蕾期土壤储蓄的水分,而且耗散了土壤水分,PM 0—200cm 土壤贮水量较播前减少 50.5mm,耗水深度 80cm,CK 0—200cm 土壤贮水量与播前基本一致;2014 年 PM 和 CK 分别减少 87.1mm 和 71.9mm,耗水深度分别为 160cm 和 180cm;2013 由于盛花期降水多(7 月份降水 156mm),虽然马铃薯耗水增多,但 PM 和 CK 0—200cm 土壤贮水量均较播前增加,PM 播前增加 46.9mm,CK 增加 38.8mm。

盛花期后马铃薯生长以地下部分为主,薯块的膨大需要大量水分,因此马铃薯对土壤水分的消耗进一步加大,除 2013 年外,其余年份试验结果均显示,薯块膨大期为马铃薯水分消耗最多的时期且 PM 对土壤水分的消耗大于 CK。2011 薯块膨大期,PM 0—200cm 贮水量较播前减少 94.8mm,水分耗散深度为 160cm,CK 减少 60.1mm,水分耗散深度为 140cm;2012 虽然此期降水 109mm,但仍消耗大量土壤水分,PM 0—200cm 土壤贮水量较播前较少 91.1mm,耗水深度 180cm,CK 减少 71.9mm,耗水深度 180cm;2014 年 PM 和 CK 分别减少 125.5mm 和 119.2mm,耗水深度均达 180cm;2013 此期降水 116mm,虽然马铃薯耗水增多,但块茎膨大期 PM 和 CK 0—200cm 土壤贮水量均较播前增加,其中 PM 薯块膨大期较播前增加 41.2mm,CK 增加 0.3mm。

综合分析 4 年试验结果可见,在平水年和欠水年 PM 能促进马铃薯盛花期和薯块膨大期耗水,保证马铃薯高产的水分条件,但与 CK 相比,PM 虽然耗水量大,耗水深度却并未增加。

表 1 黑色地膜覆盖对马铃薯关键生育期土壤水分状况和耗水深度的影响

Table 1 Effects of black film mulching on soil water storage and water consumption depth

生育期/年份 Growth stage/Year 处理 Treatment	播前 Sowing		现蕾期 Squaring				盛花期 Flowering				薯块膨大期 Expanding			
	贮水量/ mm Soil water storage		贮水量/ mm Soil water storage		耗水深度/ cm Water consumption depth		贮水量/mm Soil water storage		耗水深度/ cm Water consumption depth		贮水量/mm Soil water storage		耗水深度/cm Water consumption depth	
	PM	CK	PM	CK	PM	CK	PM	CK	PM	CK	PM	CK	PM	CK
2011	381.4	381.4	336.4	329.5	80	140	305.6	327.4	140	140	286.6	321.3	160	140
2012	393.1	320.5	419.2	342.8	60	60	342.6	321.8	80	60	305.0	325.2	180	180
2013	461.7	386.4	433.9	340.8	60	80	508.5	425.1	-	-	502.9	461.9	-	60
2014	504.9	449.7	474.4	426.6	100	100	417.8	377.7	160	180	389.4	385.8	180	180

表中土壤贮水量单位 mm,耗水深度单位 cm. BF:播种前 Before sowing, PM:全膜覆盖垄沟种植 whole field surface plastic mulching and planting on ridgeI

2.4 土壤水分年际变化

黑色地膜覆盖对马铃薯播前收后土壤贮水量有显著影响(图 9)。2011 年为欠水年,马铃薯收获后,PM 60cm 以上土层高于播前,但 60cm—200cm 土层较播前低 89.8 mm;CK 40cm 以上土层高于播前,但 40cm—200cm 土层较播前低 113.4 mm;2012 年马铃薯收获后,PM 0—60cm 土壤贮水量跟播前接近,60—200cm 土层土壤贮水量较播前高 90.4mm;CK 0—120cm 土壤贮水量较播前高 52.1mm,120cm—200cm 土层与播前相近。2013 年收获后 PM 0—200cm 各土层土壤贮水量较播前高 28.6mm,CK 60 cm—200cm 层土壤贮水量较播前高 64.4mm。2014 年马铃薯收获后,PM 与 CK 0—200cm 贮水量与播前基本无差异。

从年际水分变化看,PM 和 CK 当年播前 0 —200cm 土壤贮水量均不少于上一年收获后。2012 年 PM 播前 0 —200cm 土壤贮水量较 2011 年收获后高 61.8mm,CK 高 57.1mm;2013 年 PM 播前 0 —200cm 土壤贮水量较 2012 年收获后高 8.7mm,CK 高 15.4mm;2014 年 PM 播前 0 —200cm 土壤贮水量较 2013 年收获后高 1.6 mm,CK 高 19.9mm。2014 年收获后 PM 0 —200 cm 土壤贮水量较 2011 年播前高 123.4mm,CK 高 92.4mm。

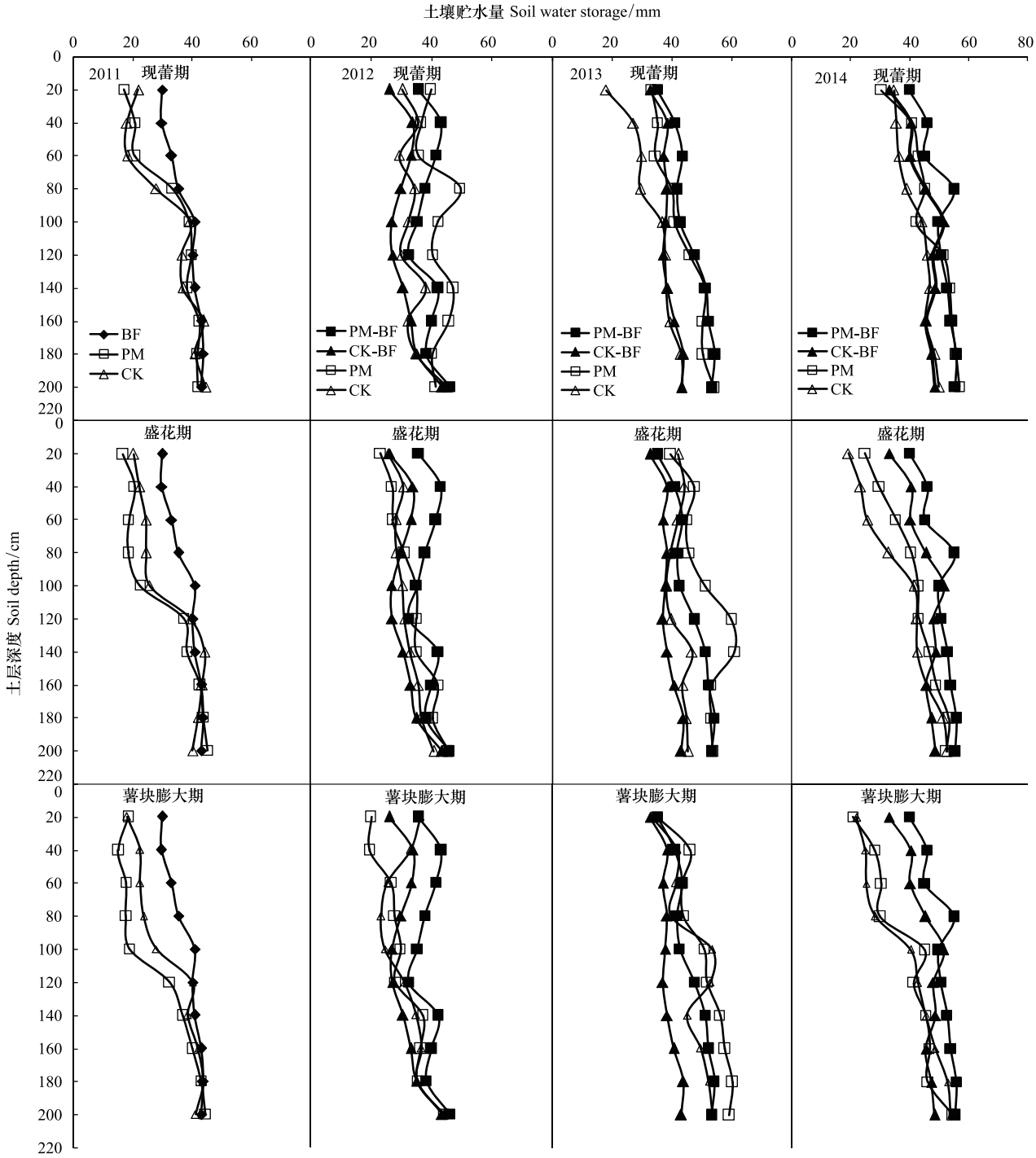


图 8　2011—2014 年马铃薯关键生育期土壤贮水量变化

Fig.8　Dynamic of soil water storage at key growth stage during 2011—2014

BF:播种前 Before sowing;PM:全膜覆盖垄沟种植 whole field surface plastic mulching and planting on ridge

可见,在马铃薯生育期平均降水 391.4mm(2011—2014 年马铃薯生育期平均降水量)条件下,足以支持马铃薯生产,并能改善土壤水分状况。

2.5　马铃薯产量、耗水量和水分利用效率

黑色地膜覆盖对马铃薯产量、耗水量和 WUE 均有显著影响(图 10)。黑色地膜覆盖后, 2011 年 PM 产量较 CK 提高 29.3%,2012 年提高 13.6%,2013 年提高 17.5%,2014 年提高 64.5%,差异均达显著水平(P<0.05);

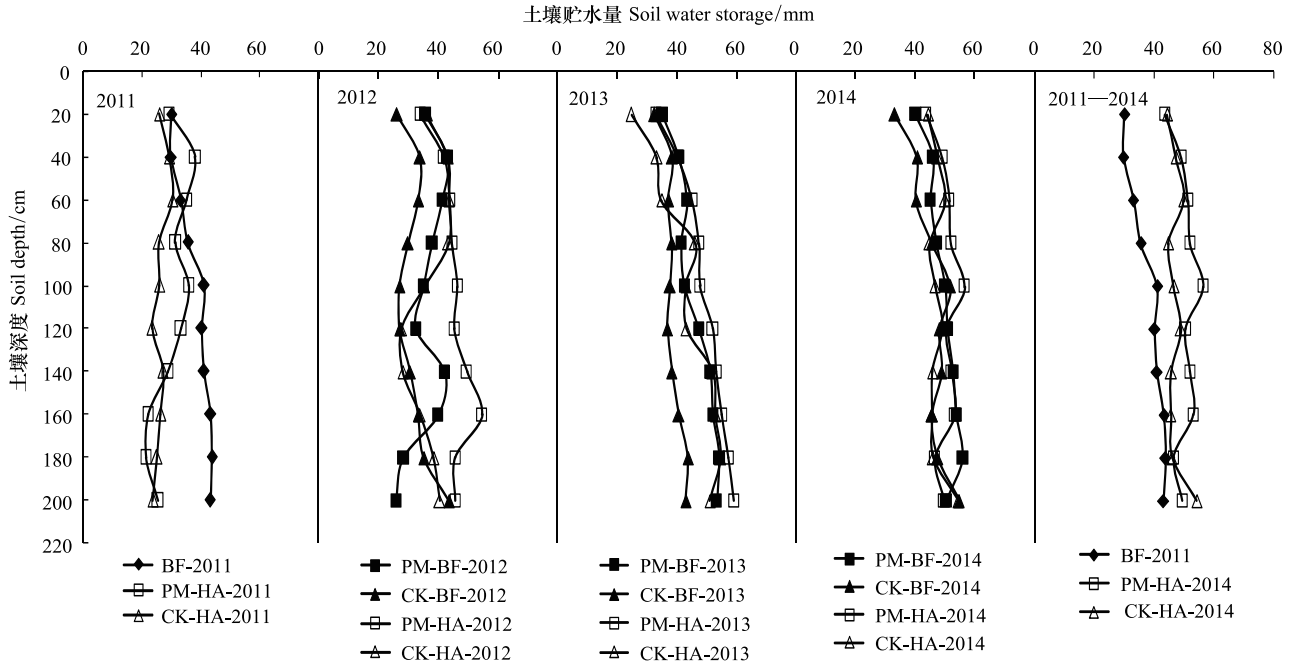


图 9 黑色地膜覆盖对马铃薯播前收后土壤贮水量的影响

Fig.9 Effects of black film mulching on soil water storage before sowing and after harvesting

在 PM 大幅增产的前提下,耗水量却有一定程度下降,2011 年和 2012 年 PM 耗水量显著低于 CK($P < 0.05$),2013—2014 年低于 CK,但差异不显著。PM 2011 年 WUE 较 CK 提高 44.7%,2012 年提高 36.2%,2013 年提高 24.1%,2014 年提高 69.5%,差异均达显著水平($P < 0.05$)。

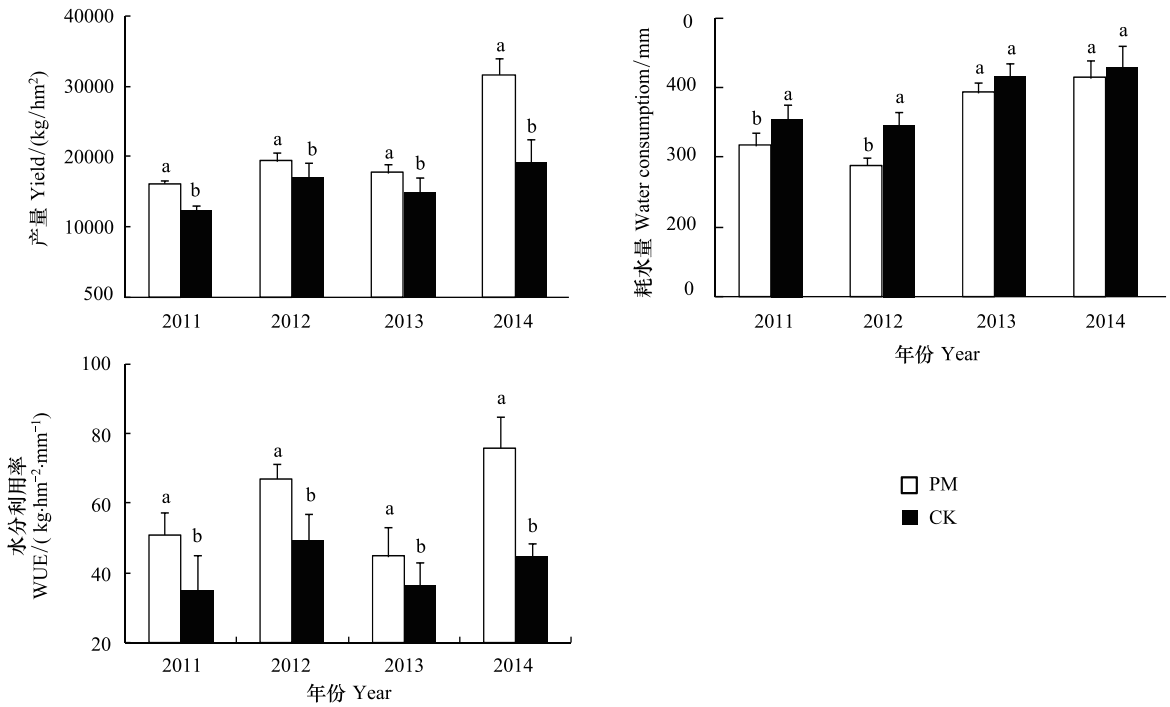


图 10 黑色地膜覆盖对马铃薯产量、耗水量和 WUE 的影响

Fig.10 Effects of black film mulching on yield, water consumption and WUE of potato

不同字母表示同一年份不同处理测定结果在 5%水平上差异显著

综合分析四年试验结果(表 2),2011—2014 年 PM 马铃薯累计产量较 CK 增加 32.9%,WUE 较 CK 提高 41.3%,差异均达显著水平($P < 0.05$),但四年马铃薯生育期累计耗水量 PM 与 CK 差异不显著, PM 略低于 CK;2011—2014 年累计降水量 1878mm(含冬休闲期降水),较 PM 马铃薯四年总耗水量多 462mm,较 CK 总耗水量多 332.0mm;马铃薯连续种植四年后,2014 年马铃薯收获后 0—200cm 土壤贮水量较 2011 年播前增加 123.4mm,CK 增加 92.4mm;可见,从土壤水分年际持续性看,在试验四年马铃薯生育期间年均降水 391.4mm 条件下,降水足以支持马铃薯生长,并提高土壤水分含量。马铃薯覆盖黑色地膜后,产量大幅提高同时土壤水分环境得以优化。

表 2　2011—2014 年累计产量、耗水量、WUE 及 0—200cm 土壤水分变化

Table 2　Dynamic of yield, water consumption, WUE and soil water in 0—200cm layer

处理 Treatment	总产量/kg Cumulative production	总耗水量/mm Cumulative water consumptiom	平均 WUE/(Kg hm^{-2} mm^{-1}) Average WUE	总降水量/mm Cumulative Precipitation	2011 年播前土壤贮水量/mm Soil water storage before sowing in 2011	2014 年收后土壤贮水量/mm Soil water storage after harvesting in 2014
PM	84840.82a	1416.04a	59.91a	1878.4	381.4	504.8
CK	63834.49b	1546.37a	41.28b	1878.4	381.4	473.8

3　讨论与结论

透明膜覆盖具有显著的增温效果,对玉米、小麦覆膜后增温效果主要在拔节期前,增温幅度 1.8℃—3℃左右[6,13]。对马铃薯而言,透明膜覆盖后,苗期日均温度增加最明显,开花期和封行期增温不明显,增温效应表现为马铃薯生长前期增温多,后期增温少,且 0—20cm 各土层土壤温度均表现为 14:00 最高,20:00 次之,8:00 最低[14-17];马铃薯透明膜覆盖垄沟种植方面的研究显示,覆膜能显著增加垄上 10cm 土层土壤温度,利用马铃薯幼苗生长[18]。本试验条件下,黑色地膜覆盖后,马铃薯全生育期均存在增温效果,且增温幅度呈先增大后减少的“抛物线型”变化趋势,0—25cm 平均地温增加 0.8℃—2.3℃,与已有透明膜覆盖增温效应研究结果有不同之处,一方面增温时期不同,另一方面增温幅度低于透明膜[14]。本试验中,盛花期 PM 增温效果主要在 8:00,14:00 和 20:00 地温低于 CK,其他生育期各时段均有不同程度增温,与马铃薯透明膜覆盖后不同时间段温度效应研究结果不同[14-19],原因是黑色地膜覆盖前期增温使植株长势旺盛,地上冠层大,地上群体较为合理,避免了透明地膜覆盖马铃薯关键生育期的高温胁迫;另一方面黑色地膜覆盖在盛花期稳定地温的作用对马铃薯薯块膨大创造了适宜的条件,对马铃薯产量提高奠定了基础。

透明膜覆盖在提高玉米[6,20-21]、小麦[13,22]、西瓜[23]等耗水量、产量和水分利用效率方面效果显著,但透明膜覆盖后马铃薯的土壤水分、产量效应研究结果不尽相同。有研究显示透明膜覆盖后马铃薯播种后至封行前,0—21 cm 土壤含水率比不覆膜提高 10.88%,封行后比不覆膜低 6.40%,马铃薯透明膜覆盖栽培的块茎产量比不覆盖降低 15.8%,认为透明膜覆盖宜采取前期覆膜、中后期撤膜的方式[24-25];也有研究认为,透明膜覆盖双垄栽培能提高 0—100cm 土壤含水量[9],产量较不覆膜提高 29.31%—207.94%,水分利用效率提高 36.15%—237.50%[11,16-18]。本试验条件下,虽然试验 4 年降水分布不同,但马铃薯现蕾期 PM 和 CK 0—200 cm 土壤贮水量均有不同程度减少,随马铃薯生育进程的推进,降水逐渐增多同时马铃薯对水分利用逐步加快,盛花期平水年和欠水年 PM 0—200cm 土壤贮水量减少幅度大于 CK, PM 能促进马铃薯盛花期对土壤水分的利用;盛花期后马铃薯生长以地下部分为主,对土壤水分的消耗进一步加大,在平水年和欠水年,薯块膨大期为马铃薯水分消耗最多的时期且 PM 对土壤水分的消耗大于 CK。但在丰水年(2013 年),虽然马铃薯耗水增多,但块茎膨大期 PM 和 CK 0—200cm 土壤贮水量均较播前增加,综合分析 4 年试验结果可见,黑色地膜覆盖后,马铃薯对土壤水分的消耗与降水有较大关系,在平水年和欠水年 PM 能促进马铃薯盛花期和薯块膨大期耗水,保证马铃薯高产的水分条件,但与 CK 相比,PM 虽然耗水量大,耗水深度却并未增加。

研究显示,透明膜覆盖能显著提高作物产量,但在地膜覆盖营造高产田的同时,易导致土壤水分过耗,土

壤干燥化现象发生或土壤年际水分平衡破坏,干燥化风险增加[26-30]。本试验条件下,不论丰水年或欠水年,黑色地膜覆盖后,PM 产量和 WUE 较 CK 均提高,其中产量增加 13.6% — 64.5%,WUE 提高 24.1%—69.5%,差异均达显著水平($P < 0.05$);但 PM 在大幅增产的前提下,耗水量和耗水深度却并未增加,2011 年和 2012 年 PM 耗水量显著低于 CK($P < 0.05$),而且试验四年中各生育期 PM 耗水深度与 CK 相比并未加深;连续四年 PM 种植马铃薯使 0—200 cm 土壤贮水量增加了 123.4mm,较 CK 高 31.0mm。主要原因是黑色地膜覆盖抑蒸保墒、协调马铃薯耗水与土壤水分分配,在高效用水的同时最大限度保蓄了土壤水分。

黑色地膜覆盖(PM)能增加马铃薯全生育期 0—25cm 土壤温度 1.5℃左右,增温效应弱于透明膜覆盖,在马铃薯盛花期 PM 增温效果主要在 8:00,14:00 和 20:00 的地温低于 CK,在一定程度缓解了地膜覆盖马铃薯生育后期的高温胁迫危害并具有稳定地温的作用;同时,在平水年和欠水年,促进马铃薯盛花期和薯块膨大期耗水;PM 在调节地温、促进关键生育期耗水作用下,产量较 CK 提高 13.6%—64.5%,WUE 提高 24.1%—69.5%,差异显著($P < 0.05$)。PM 虽连年增产,但在年均降水 391.4mm 条件下,连续四年种植对 0—200cm 土壤水分状况有优化作用。

参考文献(References):

[1] 肖国举, 王静. 黄土高原集水农业研究进展. 生态学报, 2003, 23(5): 1003-1011.

[2] Li F R, Zhao S L, G T Geballe. Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. Agriculture Ecosystems & Environment, 2000, 79(2/3): l29-l42.

[3] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, Jia Y, Li F M, Xiong Y C, Li X G. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4): 241-249.

[4] 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. 应用生态学报, 2007, l8(4): 795-800.

[5] 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. 中国农业科学, 2004, 37(2): 208-214.

[6] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 马一凡, 于显枫, 柳燕兰. 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. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2609-2614.

[7] Wang Y J, Xie Z K, Sukhdev S Malhi, Cecil L Vera, Zhang Y B, Wang J N. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China. Agricultural Water Management, 2009, 96(3): 374-382.

[8] Zhang S L, Lars Lövdahl, Harald Grip, Per-Erik Jansson, Tong Y N. Modelling the effects of mulching and fallow cropping on water balance in the Chinese Loess Plateau. Soil and Tillage Research, 2007, 93(2): 283-298.

[9] 汤瑛芳, 高世铭, 王亚红, 张绪成. 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. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 1-7, 13-13.

[10] 辛宽. 秋季覆盖黑色地膜垄作侧播马铃薯综合效益试验. 青海农林科技, 2014, (3): 19-23.

[11] 买自珍, 佘萍, 买娟, 王勇, 周皓蕾, 米治明, 陆俊武, 金学平. 半干旱区不同覆膜时期、方式与膜色对土壤水分及马铃薯水分利用效率的影响. 干旱地区农业研究, 2014, 32(1): 1-10.

[12] Hadrian F Cook, Gerardo S B Valdes, Howard C Lee. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characterics and temperature under *Zea mays* L. Soil and Tillage Research, 2006, 91(1/2): 227-235.

[13] 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 高世铭, 于显枫, 马一凡. 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5580-5588.

[14] 范士杰, 王蒂, 张俊莲, 白江平, 刘文贤, 马智黠, 彭慧元. 不同栽培方式对马铃薯田间土壤温湿度及产量的影响. 农业工程学报, 2011, 27(11): 216-221.

[15] 陆立银. 马铃薯地膜种植生态效应研究. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 96-99.

[16] Zhao H, Xiong Y C, Li F M, Wang R Y, Qiang S C, Yao T F, Mo F. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem. Agricultural Water Management, 2012, 104: 68-78.

[17] Zhao H, Wang R Y, Ma B L, Xiong Y C, Qiang S C, Wang C L, Liu C A, Li F M. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem. Field Crops Research, 2014, 161: 137-148.

[18] Wang X L, Li F M, Jia Y, Shi W Q. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature. Agricultural Water Management, 2005, 78(3): 181-194.

[19] 夏芳琴, 姜小凤, 董博, 郭天文. 不同覆盖时期和方式对旱地马铃薯土壤水热条件和产量的影响. 核农学报, 2014, 28(7): 1327-1333.

[20] Zhang S L, Li P R, Yang X Y, Wang Z H, Chen X P. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize. Soil and Tillage Research, 2011, 112(1): 92-97.

[21] Zhou L M, Li F M, Jin S L, Song Y J. 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. Field Crops Research, 2009, 113(1): 41-47.

[22] 李儒, 崔荣美, 贾志宽, 韩清芳, 路文涛, 侯贤清. 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. 中国农业科学, 2011, 44(16): 3312-3322.

[23] 马忠明, 杜少平, 薛亮. 不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响. 生态学报, 2011, 31(5): 1295-1302.

[24] 石有太, 陈玉梁, 刘世海, 厚毅清, 裴怀弟, 王红梅, 张艳萍. 半干旱区不同覆膜方式对土壤水分温度及马铃薯产量的影响. 中国马铃薯, 2013, 27(1): 19-24.

[25] 范士杰, 王蒂, 张俊莲, 白江平, 宋吉轩, 马智黠. 不同栽培方式对马铃薯土壤水分状况和产量的影响. 草业学报, 2012, 21(2): 271-279.

[26] 黄明斌, 党廷辉, 李玉山. 黄土区旱塬农田生产力提高对土壤水分循环的影响. 农业工程学报, 2002, 18(6): 50-54.

[27] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究. 自然资源学报, 2001, 16(5): 427-432.

[28] 王学春, 李军, 蒋斌, 胡伟. 黄土高原不同降水类型区旱作玉米田土壤干燥化效应与土壤水分承载力模拟研究. 生态学报, 2009, 29(4): 2053-2066.

[29] 李军, 邵明安, 张兴昌, 李世清. 黄土高原旱塬区高产玉米田土壤干燥化与产量波动趋势模拟研究. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 54-58.

[30] 王红丽, 张绪成, 宋尚有. 半干旱区旱地不同覆盖种植方式玉米田的土壤水分和产量效应. 植物生态学报, 2011, 35(8): 825-833.