

西北半干旱区秸秆带状覆盖对土壤水分及马铃薯产量的影响

李辉^{1,3}, 柴守玺¹, 常磊¹, 吴建民¹, 程宏波²,
韩凡香², 李博文⁴, 兰雪梅¹, 王芳¹, 李瑞¹

(1. 甘肃农业大学农学院/甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 兰州 730070; 3. 兰州城市学院, 兰州 730070; 4. 甘肃省农业技术推广总站, 兰州 730020)

摘要: 为了探明玉米秸秆带状覆盖对西北半干旱区马铃薯田土壤水分及产量的影响, 设置地膜覆盖(M1)、秸秆带状平覆(M2)、垄沟覆秆(M3)和传统不覆盖(CK)4 个处理, 通过 2 年田间试验, 对比分析了不同覆盖方式对生长指标、土层含水率、产量及水分利用效率的影响。结果表明: 3 种覆盖方式较 CK 显著增产 11.68%~21.74%, 提高水分利用效率 22.82%~48.63%。覆盖种植较 CK 单株产量提高 26.02%~48.37%, 株高增加 3.18%~12.82%, 单株生物量增加 0.59%~26.49%, 全生育期作物耗水量降低 55.29~66.21 mm, 以秸秆带状平覆(M2)最好或较好。全生育期 0—200 cm 土层平均含水率平水年黑膜大垄(M1)较 CK 低 0.89 个百分点, 偏旱年较 CK 高 1.30 个百分点; 秸秆带状平覆(M2)无论平水年还是偏旱年分别较 M1 及 CK 高 0.20~0.89 及 0~1.50 个百分点。其中以秸秆带状平覆(M2)在作物生长、增产及水分利用效率等方面效果较好, 适宜西北半干旱地区推广。

关键词: 西北半干旱区; 玉米秸秆带状覆盖; 地膜覆盖; 马铃薯; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S152.7; S532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2017)06-0148-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.06.025

Effects of Straw Strip Mulching on Soil Moisture and Potato Yield in Northwest Semi-arid Region of China

LI Hui^{1,3}, CHAI Shouxi¹, CHANG Lei¹, WU Jianmin¹, CHENG Hongbo²,
HAN Fanxiang², LI Bowen⁴, LAN Xuemei¹, WANG Fang¹, LI Rui¹

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University/ Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Sciences, Lanzhou 730070; 2. College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 3. Lanzhou City College, Lanzhou 730070; 4. General Station for Agriculture Technology Extension of Gansu Province, Lanzhou 730020)

Abstract: In order to investigate the effects of maize straw strip mulching on soil moisture and yield in potato field in northwest semi-arid region of China, four treatments (M1: Big ridge black film mulch planting, M2: Maize straw strip mulching on flat planting, M3: Maize straw strip mulching on furrow and ridge planting, CK: Conventional tillage with no straw covered) were conducted to compare the effects of different mulching patterns on the growth index, soil moisture in different layers, potato yield and water use efficiency in two growing seasons field experiment. Results showed that three mulching patterns significantly increased the yield by 11.68%~21.74%, and improved the water use efficiency by 22.82%~48.63% compared with CK. Compared to CK, single plant yield increased 26.02%~48.37%, the height of plant increased 3.18%~12.82%, single plant biomass increased 0.59%~26.49% and water consumption of crops during the whole growth period decreased 55.29~66.21 mm, thus M2 had the best or better effects. In the potato whole growth period, the average soil moisture in 0—200 cm soil layers in black plastic-film mulching big ridge pattern (M1) was lower than CK by 0.89 percentage points in a normal precipitation year, and M1 is higher than CK by 1.30 percentage points in slight drought year. M2 was better than M1 and CK in whether normal precipitation or slight drought year, and it was 0.20~0.89 and 0~1.50 percentage points higher than M1 and CK, respectively. Among them, maize straw strip mulching on flat planting (M2) had good effects on crop growth, yield increase and water use efficiency, which is suitable for promotion in Northwest semi-arid region.

收稿日期: 2017-05-29

资助项目: 农业部公益性科研专项(201503124); 公益性行业(农业)科研专项(201303104); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-3-2-49); 甘肃省科技支撑计划项目(1504NKCA002)

第一作者: 李辉(1982—), 男, 在读博士研究生, 主要从事马铃薯栽培技术及收获机具研究。E-mail: 112551866@qq.com

通信作者: 吴建民(1958—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作机具研究与设计。E-mail: wujm@gsau.edu.cn

Keywords: northwest semi-arid region of China; maize straw strip mulching; plastic film mulching; potato; yield; WUE

甘肃省地处西北黄土高原半干旱区,属中温带半干旱气候^[1],降水分布不均,主要集中在5—9月份,与马铃薯生长耦合度高,适宜马铃薯种植,目前马铃薯种植面积约68万 hm^2 ^[2],是甘肃省三大作物之一,单产(17.43 t/hm^2)^[2]略高于全国平均水平(15.40 t/hm^2),但低于世界平均水平(19.01 t/hm^2)^[3]。为了提高马铃薯产量,该区农业科研工作者于2006年开始使用透明地膜覆盖种植,有一定程度的增产,但因块茎膨大期地温高,导致马铃薯产量不稳,甚至减产,而且绿薯多^[4]。为了解决这些缺点于2009年开始使用黑色地膜,研究表明黑色地膜较白膜能够降低地温^[5],有利于抑制杂草生长,防止马铃薯变绿,较露地显著增产13.6%~64.5%^[4],提高0—100 cm土层土壤含水率3.19个百分点^[6-7]。地膜覆盖在增加作物产量的同时,也因残膜污染问题带来许多负面效应。目前生产上常用的地膜为一种分子结构非常稳定的聚乙烯材料,在自然条件下很难降解^[8],而且回收困难,农田地膜残留量逐年增加(据统计,农膜残留量约占总使用量的1/4~1/3^[9]),严重破坏土壤结构,抑制作物根系对土壤水分和养分的吸收^[6],而且残膜量增加导致土壤饱和导水率下降,持水能力变差^[10],不利于农业可持续发展。虽然近年来研制出了可降解地膜,但因成本较高而未大面积应用。

秸秆覆盖于上世纪50年代在我国开始研究^[11],并逐步应用,目前种植面积约600万 hm^2 ^[12],但在甘肃省还处于应用探索阶段。本研究团队在总结各种覆盖栽培技术增温、降温、保墒的同时,结合该地区寒旱并驻的特点,创建了玉米秸秆带状覆盖栽培技术^[13]。在冬小麦上成功应用后^[14-15],于2014年在马铃薯^[16]上应用,发现能够提高马铃薯产量10.5%~34.2%。前期研究主要集中在秸秆带状平覆对马铃薯产量及水分利用效率的影响上^[16],关于秸秆不同覆盖方式对马铃薯产量及水分利用效率的影响尚未研究。有研究表明,垄作较平作提高马铃薯产量21.82%^[17],提高水分利用效率16.67%^[18]。为了探究秸秆带状覆盖下垄作与平作之间马铃薯产量及土壤水分的差异,设置秸秆带状平覆、秸秆带状垄沟覆杆、黑色地膜覆盖3种覆盖方式,以传统不覆盖平作为对照,分析不同秸秆覆盖方式对马铃薯田土壤水分、生长指标、产量及水分利用效率的影响,为完善马铃薯秸秆带状覆盖高产栽培技术增产机理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2015年4月至2016年10月在甘肃省通渭

县平襄镇甘肃农业大学试验基地进行。该区地处北纬 $35^{\circ}11'$,东经 $105^{\circ}19'$,海拔高度1760 m,属中温带半干旱气候,作物一年一熟,年均日照时数2100~2430 h,全年无霜期120~170 d,年蒸发量达1500 mm,年均气温 7.2°C ,年均降水量为390.7 mm,而且降雨季节分布不均,主要集中于5—9月。试验区土壤为黄绵土,0—200 cm土层平均容重为 $1.25\text{ g}/\text{cm}^3$ 。试验期间月降雨量见图1。2015年降水量为377.7 mm,属平水年,其中马铃薯生育期有效降水量为281.2 mm,占全年降水量的74.5%,降水较充足;2016年降水量为334.8 mm,属于偏早年,其中马铃薯生育期有效降水量为201.8 mm,占全年降水量的60.3%。

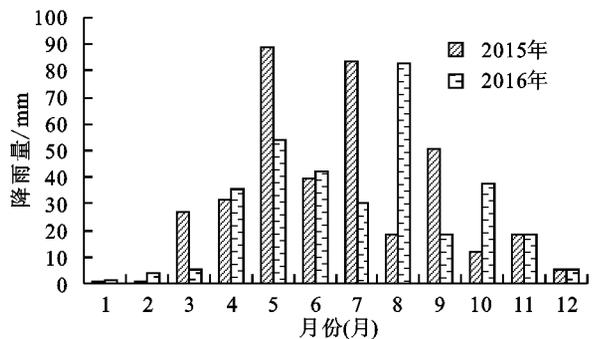


图1 2015年和2016年研究区月降雨量

1.2 试验设计

供试马铃薯品种为“陇薯7号”,由甘肃一航薯业科技有限责任公司提供。黑色地膜为当地普通地膜,宽120 cm,厚0.01 mm。

试验设黑膜大垄(M1)、玉米秸秆带状平覆(M2)、玉米秸秆带状垄沟覆杆(M3)和不覆盖露地平作(对照,CK)4个处理,各处理重复3次,共12个小区,每小区面积 108 m^2 ($15\text{ m}\times 7.2\text{ m}$),小区随机区组排列。M1:垄宽80 cm,高15 cm,垄沟宽40 cm;用地膜覆盖垄面,垄沟内留5 cm膜间隙做渗水带;每垄播种2行。M2:秸秆覆盖带和种植带相间排列,覆盖带和种植带各60 cm,每带播种2行。M3:垄宽60 cm,高15 cm,垄沟宽60 cm,垄沟内覆秸秆;每垄播种2行。M2、M3处理秸秆覆盖带均采用玉米整秆覆盖,覆盖量约 $52\ 500\text{ 株}/\text{hm}^2$,折合秸秆干重约 $9\ 000.0\text{ kg}/\text{hm}^2$,约等于 1 hm^2 旱地玉米秸秆量,收获后将经过腐化的秸秆通过旋耕机打碎还田。CK:平作不覆盖,等行距种植,行距60 cm。各处理播种时按“品”字形人工穴播种植,种植密度均为 $57\ 000\text{ 株}/\text{hm}^2$,株距29 cm,行距60 cm。

播种前7天旋耕整地,将当地常用肥料磷酸二铵及尿素按纯氮(N)180 kg/hm^2 、纯磷(P_2O_5)150 $\text{kg}/$

hm² 整地前一次性均匀施入(后期不追肥),并起垄、覆膜、覆秆。各处理除地膜覆盖需及时放苗外,其他生产管理方式与当地农民生产习惯一致,全生育期无灌水。2015年4月23日播种,10月2日收获,2016年4月13日播种,10月18日收获。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 马铃薯生长指标 在马铃薯关键生育时期(开花期、块茎膨大期、淀粉积累期),每重复随机选取5株测定作物株高及地上部生物量。植株株高采用生理株高衡量,为地上茎基部到生长点的距离。植株生物量为地上部茎、叶的总和,称完鲜重后放进105℃的烘箱中杀青30 min,再经85℃恒温烘干24 h后得到^[19]。日生长量通过本次调查值与上一次调查值之差,除以两次调查间隔的天数来计算。

1.3.2 土壤含水率 在马铃薯播种前1天、苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和收获期,按0—60,180—200 cm每20 cm一个层次,60—180 cm每30 cm一个层次,共8个土层,从每小区马铃薯种植行间取样,用烘干法测定土层土壤含水率。

土壤含水率=(土壤鲜质量-土壤干质量)/土壤干质量×100%

1.3.3 土壤贮水量及农田耗水量 土壤贮水量计算公式为:

$$W = h \times \rho \times \omega \times 10$$

式中:W为土壤贮水量(mm);h为土层深度(cm);ρ为土壤容重(g/cm³);ω为土壤含水率(%)。

生育期农田耗水量计算公式为:

$$ET = (W_1 - W_2) + P$$

式中:ET为马铃薯生育期耗水量(mm),包括植株蒸腾量和植株间地表蒸发量;W₁为播种前土壤贮水量(mm);W₂为收获后土壤贮水量(mm);P为作物生

育期≥5 mm的有效降雨量。

日耗水量通过本次测量值与上一次测量值之差,除以两次测量间隔的天数来计算。

1.3.4 产量及水分利用效率 在成熟期,每小区随机选取15株进行拷种,依据重量分为3个等级^[20]:大(>100 g)、中(50~100 g)和小(<50 g),分别调查每个等级的个数并称重,计算商品薯率。

商品薯率(%)=(单薯50 g以上的产量/马铃薯总产)×100%

收获时按小区测实产,取3次重复的平均值折算每公顷产量。产量水分利用效率计算公式为:

$$WUE = Y/ET$$

式中:WUE为水分利用效率(kg/(mm·hm²));Y为马铃薯产量(kg/hm²)。

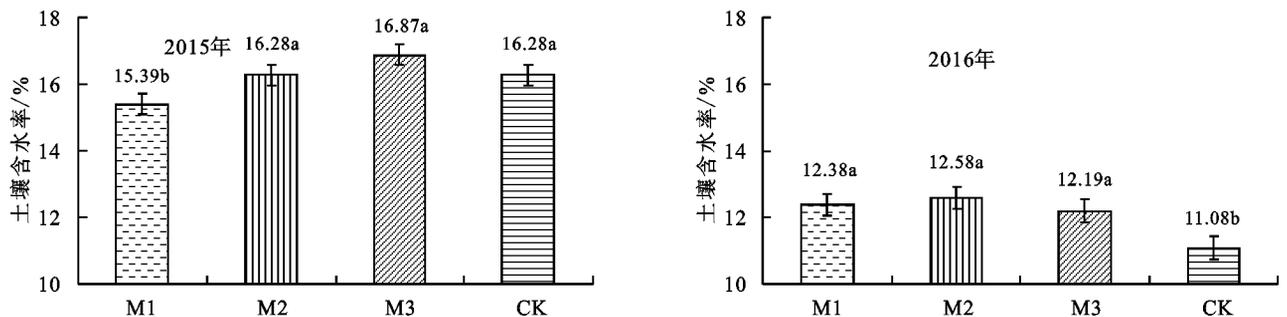
1.4 数据分析

采用Excel 2007和SPSS 20.0软件进行数据整理与统计分析,方差分析使用最小显著差异法(LSD)进行($p < 0.05$),用Excel 2007作图。

2 结果与分析

2.1 覆盖方式对土壤水分的影响

2.1.1 全生育期0—200 cm土层土壤平均含水率 全生育期0—200 cm土层土壤平均含水率见图2。由图2可知,各处理全生育期内0—200 cm土层土壤含水率差异显著,全生育期内0—200 cm土层土壤含水率2015年M3最高,较CK高0.59个百分点,M1最低,较CK低0.89个百分点;2016年覆盖种植显著高于CK,以M2最高,较CK高1.50个百分点,覆盖方式之间差异不显著。表明秸秆带状覆盖(M2、M3)无论平水年还是偏旱年均具有良好的蓄水保墒作用,而且在降雨相对充足时显著好于黑膜大垄(M1)。



注:图中每系列数据后不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

图2 全生育期0—200 cm土层土壤平均含水率

2.1.2 不同时期0—200 cm土层土壤平均含水率的变化 0—200 cm土层土壤平均含水率随生育进程的变化见图3。由图3可知,各处理0—200 cm土层土壤含水率随生育进程的推进总体均呈先升后降的趋势。处理间0—200 cm土层平均含水率2个生长

季表现不一致,2015年秸秆带状覆盖(M2、M3)大多数时期好于黑膜大垄(M1)及CK,带状平覆(M2)大多数时期低于垄沟覆盖(M3);2016年覆盖种植各生育时期均高于CK,秸秆带状覆盖种植在块茎形成期(7月10日)前略低于黑膜大垄(M1),块茎膨大期(8

月3日)后略高于黑膜大垄(M1),带状平覆(M2)大多数时期好于垄沟覆盖(M3)。

处理间差异表现为2015年块茎膨大期(8月14日)差异最大,相差3.30个百分点(M1与M3),2016年块茎形成期(7月10日)差异最大,相差2.21个百分点(M2与CK)。各处理与CK的差异2015年M1在块茎膨大期(8月14日)最大,较CK低3.05个百分点,M2、M3在收获期(9月27日)最大,分别较CK高2.65,1.57个百分点;2016年M1、M2在块茎形

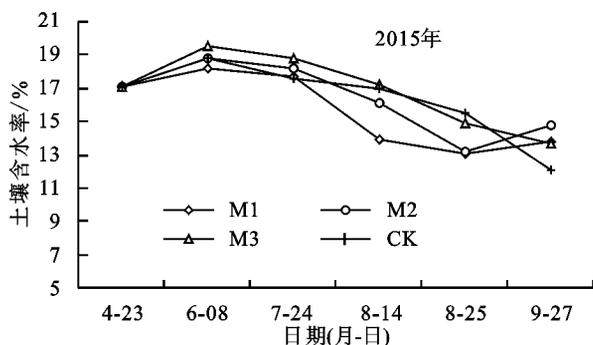


图3 0—200 cm 土层土壤平均含水率随生育进程的变化

2.1.3 全生育期不同土层土壤平均含水率的变化

全生育期不同土层土壤平均含水率的变化趋势见图4。由图4可知,2个生长季各处理全生育期不同土层土壤含水率随土层加深而升高。各处理土层含水率年间表现不一致,平水年(2015年)黑膜大垄(M1)大多数土层低于秸秆带状覆盖(M2、M3)及CK,秸秆带状平覆(M2)0—90 cm 土层好于CK,90—200 cm 土层不如CK,垄沟覆杆(M3)大多数土层好于秸秆带状平覆(M2)及CK。偏旱年(2016年)覆盖种植各土层的含水率显著高于CK,覆盖处理间0—60 cm 土层含水率基本相同,60—120 cm 土层黑膜大垄(M1)好于秸秆带状覆盖(M2、M3),150—200 cm 土层秸

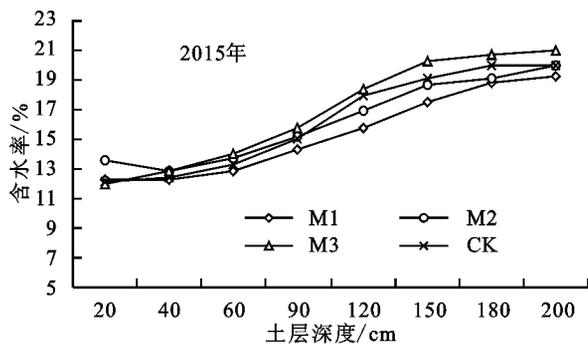
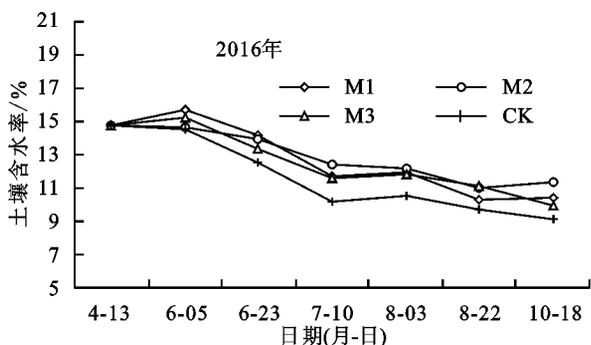


图4 全生育期不同土层土壤平均含水率的变化

2.1.4 土壤含水率的时空变化 土壤含水率的时空变化与作物生育时期、覆盖方式及降水分布密切相关^[21]。通过对两个生长季内土壤水分测定数据的统计分析,得出其土壤水分随土层深度的变化情况见图5。由图5可知,2个生长季0—120 cm 土层含水率各处理在块茎形成期开始明显降低,而且上层土壤含

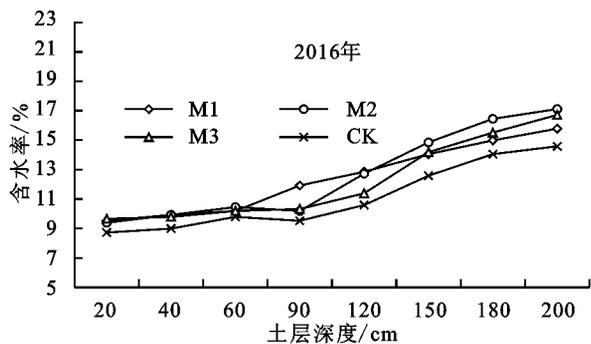
成期(7月10日)最大,分别较CK高1.56,2.21个百分点,M3在淀粉积累期(8月22日)最大,较CK高1.52个百分点。

由统计分析可知,M1、M2、M3、CK不同生育时期的变异系数2015年分别为14.94%,13.23%,13.38%,14.40%,2016年分别为17.35%,12.42%,16.08%,21.07%。表明秸秆带状覆盖(M2、M3)较黑膜大垄(M1)及CK能够平抑全生育期土壤水分变化,秸秆带状平覆(M2)较垄沟覆杆(M3)缓和了土壤水分变化。



秆带状覆盖(M2、M3)好于黑膜大垄(M1),0—200 cm 土层秸秆带状平覆(M2)大多数土层好于垄沟覆杆(M3)。

处理间差异,2015年150 cm 土层差异最大,相差2.87个百分点(M1与M3),2016年200 cm 土层差异最大,相差2.57个百分点(M2与CK)。各处理与CK的差异,2015年,M1处理在120 cm 土层差异最大,较CK低2.09个百分点,M2处理在20 cm 土层差异最大,较CK高1.42个百分点,M3处理在150 cm 土层差异最大,较CK高1.22个百分点;2016年,M1处理在90 cm 土层差异最大,较CK高2.40个百分点,M2、M3处理在200 cm 土层差异最大,分别较CK高2.57,2.20个百分点。



水率降幅较大。150—200 cm 土层含水率各处理随生育进程的推进变化趋势明显小于上层。在收获表层土壤水分有明显上升趋势,而且秸秆带状覆盖恢复较快。各处理土层含水率2016年明显低于2015年,这主要是两个生长季降雨差异造成。

处理间差异在2015年表现为淀粉积累期120 cm 土

层最大,相差 6.38 个百分点(M1 与 CK),2016 年块茎膨大期 120 cm 土层最大,相差 4.39 个百分点(M2 与 CK)。

与 CK 相比,M1、M2、M3 增墒点次比 2015 年分别为 40.0%,50.0%,67.5%,2016 年分别为 79.2%,85.4%,81.3%,表明 M1 在平水年(2015 年)主要表现为降墒效应,而偏旱年(2016 年)主要表现为增墒效应,两年 M1 的增墒效应均不如秸秆带状覆盖(M2、M3)。M2 平水年(2015 年)增墒效应不如 M3,而偏旱年(2016 年)好于 M3。

由图 5 可知,各处理土层间含水率随生育进程的变化表现出一定的阶段性和层次性。2015 年播种至苗期(历期 46 天)有效降雨 88.9 mm,该阶段地表裸露,棵间蒸发大,生长耗水少,各处理各土层含水率显著高于播种前;覆盖种植 0—60 cm 土层的含水率 M1、M2、M3 显著较 CK 高 2.06,1.93,2.56 个百分点($p < 0.05$),60—200 cm 土层含水率 M1、M2、M3 显著较 CK 低 2.27,1.22,0.32 个百分点($p < 0.05$)。苗期至块茎形成期(历期 46 天)有效降雨 123.4 mm,该阶段植株生长旺盛,田间郁闭程度逐渐增大,棵间蒸发减少,植株生长耗水加剧;各处理 0—90 cm 土层含水率较苗期有明显的下降,其中地膜覆盖降幅最大;M1、M2、M3 处理 0—200 cm 土层含水率显著较 CK 高 0.15,0.63,1.20 个百分点($p < 0.05$)。块茎形成至膨大期(历期 21 天)有效降雨 7.7 mm,该阶段气温高,而且正值植株营养生长与生殖生长并进期,植株蒸腾耗水加快,各处理 0—200 cm 土层含水率较块茎形成期有明显的下降,其中地膜覆盖降幅最大;0—200 cm 土层含水率 M1、M2、M3 显著较 CK 低 3.05,0.87,-0.25 个百分点($p < 0.05$)。块茎膨大至淀粉积累期(历期 15 天)有效降雨 10.6 mm;主要是植株生殖生长耗水,0—200 cm 土层含水率 M1、M2、M3 显著较 CK 低 2.46,2.34,0.41 个百分点($p < 0.05$)。淀粉积累期至收获期(历期 33 天)有效降雨 40.5 mm,植株营养生长基本停止,生殖生长减缓,耗水明显减少,而且气温降低,棵间蒸发减少,土壤水分开始恢复;0—200 cm 土层含水率 M1、M2、M3 显著较 CK 高 1.70,2.65,1.57 个百分点($p < 0.05$)。2016 年马铃薯生育期降雨相对 2015 年明显偏少,覆盖处理的保墒效应凸显,M1、M2、M3 各时期主要表现为增墒效应,尤其是 M1 在苗期 0—150 cm 土层含水率明显高于秸秆带状平覆(M2)及 CK。

2.2 覆盖方式对马铃薯产量及其构成因素的影响

2.2.1 马铃薯产量及构成因素

不同处理对马铃薯产量及构成因素的影响见表 1。两年各处理对产量、商品薯率、大中薯率、单株产量的影响差异显著($p < 0.05$)。3 种覆盖方式两年均显著较 CK 提高产量及商品薯率,产量 M1、M2、M3 平均较 CK 增加 11.68%,21.74%,

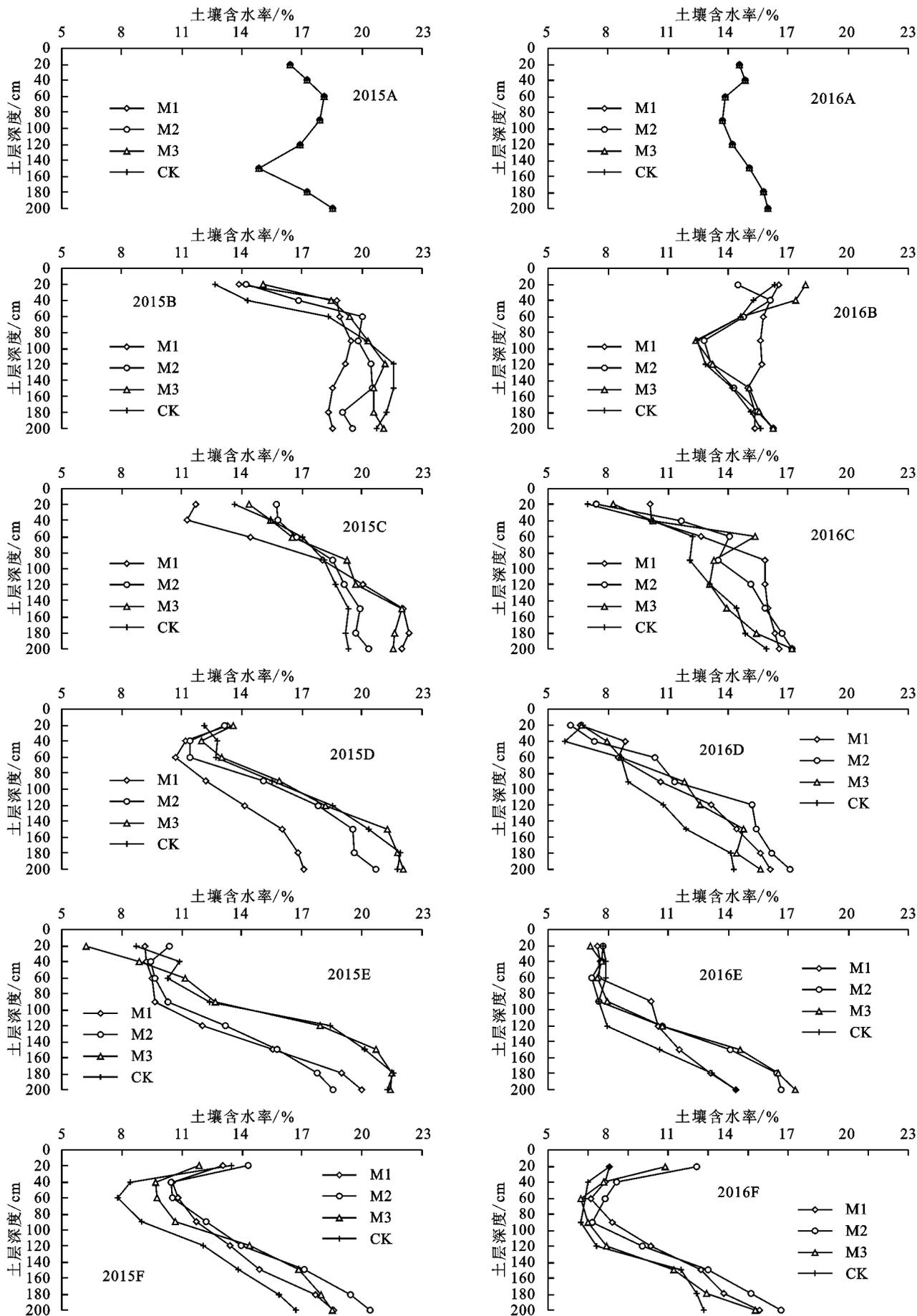
16.88%,2015 年黑膜大垄(M1)最高,较 CK 高 18.07%,2016 年秸秆带状平覆(M2)最高,较 CK 高 41.54%,商品薯率 M1、M2、M3 平均较 CK 增加 8.98%,6.88%,3.57%,两年均为黑膜大垄(M1)最高,较 CK 高 8.61%~9.43%。覆盖种植显著较 CK 提高了大薯率 23.06%~57.27%,两年均以 M1 最高;增加了单株产量 26.02%~48.37%,平水年以 M1 最高,偏旱年以 M2 最高;降低了中薯率 15.23%~35.66%,以 M1 降幅最大。

由表 2 相关分析可知,马铃薯产量与大薯率及单株结薯数正相关,与中薯率负相关(其中 2015 年达到显著($p < 0.05$))。由此可见,覆盖增产主要通过提高大薯率及单株结薯数,降低中薯率来实现。

产量性状指标与块茎形成至淀粉积累期的日均耗水量、日均增长量(株高及单株生物量)有显著相关性(表 2)。其中大薯率与前期的株高日均生长量显著负相关,与后期各指标正相关(其中与 2015 年日均耗水量达到极显著水平($r = 0.809$))。中薯率与前期的株高日均生长量正相关(其中与 2015 年株高日均生长量达到极显著水平($r = 0.749$)),与后期日均耗水量负相关(其中与 2015 年日均耗水量达到极显著水平($r = -0.762$))。单株结薯个数 2015 年与各指标的相关性不显著,2016 年与前期的日均耗水量及单株生物量日均增长量显著负相关。单株产量与前期日均耗水量及株高日均增长量负相关(其中与 2015 年株高日均增长量达到显著水平($r = -0.772$)),与后期各指标正相关(其中与 2015 年日均耗水量达到显著水平($r = 0.768$))。

2.2.2 马铃薯产量水分利用效率及耗水量

不同处理下马铃薯田耗水量及水分利用效率见表 3。由表 3 可知,两年各处理对水分利用效率的影响差异显著,M1、M2、M3 分别平均较 CK 高 22.82%,48.63%,29.91%($p < 0.05$)。两年覆盖处理间水分利用效率差异均显著,2015 年黑膜大垄(M1)与秸秆带状平覆(M2)差异不显著($p > 0.05$),但均显著高于垄沟覆杆(M3)15.09%,12.89%($p < 0.05$),2016 年秸秆带状覆盖(M2、M3)显著高于黑膜大垄(M1)47.61%,27.68%($p < 0.05$)。由此可见,在偏旱年份秸秆带状覆盖较黑膜大垄能提高马铃薯田的水分利用效率。虽然两个试验年份降雨差异较大,但各处理作物全生育期耗水量大小两年表现一致,覆盖种植显著较 CK 降低了作物耗水量,两个生长季耗水量均以 M2 降幅最大,较 CK 低 55.29~66.21 mm,M1 次之。表明秸秆带状平覆(M2)较 M1、M3 及 CK 能提高马铃薯田水分利用效率,同时有利于集雨保墒、降低土壤水分无效蒸散。由相关分析可知,产量与作物耗水量 2015 年正相关(0.101),2016 年负相关(-0.490),均不显著。



注:A为播前;B为苗期;C为块茎形成期;D为块茎膨大期;E为淀粉积累期;F为收获期。

图 5 2015 年和 2016 年旱地马铃薯不同栽培模式不同生育时期的土壤水分变化

表 1 不同覆盖处理对马铃薯产量性状的影响

年份(年)	处理	大薯率/%	中薯率/%	单株结薯数/个	单株产量/g	产量/(kg·hm ⁻²)	商品率/%
2015	M1	76.31a	19.71b	7.13a	774.66a	34743.75a	96.02a
	M2	70.21ab	23.77ab	7.30a	667.67b	31869.75b	93.98ab
	M3	64.79bc	26.92ab	6.80a	562.77c	30464.55b	91.70b
	CK	55.50c	32.90a	7.40a	548.04c	29427.75c	88.41c
2016	M1	49.16a	31.77b	4.60b	321.06b	21223.65b	80.94a
	M2	40.39b	39.18a	7.23a	467.58a	29137.05a	79.56ab
	M3	35.93b	40.53ab	7.03a	399.25ab	28110.15a	76.46b
	CK	27.77c	46.19a	5.37ab	267.31b	20686.20c	73.96b

注:同一列内数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

表 2 产量、产量性状指标和生长指标之间的相关性

年份(年)	指标	产量	块茎形成至膨大期(前期)			块茎膨大至淀粉积累期(后期)		
			日均耗水量	株高日均增长量	单株生物量日均增长量	日均耗水量	株高日均增长量	单株生物量日均增长量
2015	产量	1	-0.038	-0.717**	-0.083	0.558	0.223	0.496
	大薯率	0.753**	-0.341	-0.803**	0.098	0.809**	0.505	0.436
	中薯率	-0.743**	0.338	0.749**	-0.039	-0.762**	-0.476	-0.429
	单株结薯数	0.064	-0.110	-0.047	0.175	-0.056	0.036	-0.141
	单株产量	0.687*	-0.269	-0.772**	0.324	0.768**	0.512	0.186
2016	产量	1	-0.593*	0.214	-0.285	-0.154	-0.043	-0.109
	大薯率	0.055	0.403	-0.627*	0.264	0.249	0.414	0.121
	中薯率	-0.018	-0.427	0.487	-0.377	-0.223	-0.307	-0.095
	单株结薯数	0.653*	-0.644*	0.284	-0.580*	0.113	0.030	0.149
	单株产量	0.679*	-0.463	-0.083	-0.438	0.148	0.221	0.017

注:*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

表 3 不同覆盖方式对马铃薯田水分利用效率的影响

年份(年)	处理	播前土壤	收获期土壤	生育期	作物耗水量/	WUE/
		贮水量/mm	贮水量/mm	降雨量/mm	mm	(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
2015	M1	428.75	346.19ab	281.10	363.66ab	95.54a
	M2	428.75	369.77a	281.10	340.08b	93.71ab
	M3	428.75	342.85ab	281.10	367.00ab	83.01bc
	CK	428.75	303.56b	281.10	406.29a	72.43c
2016	M1	369.00	260.91b	201.80	309.89b	68.49b
	M2	369.00	282.58a	201.80	288.22c	101.09a
	M3	369.00	249.35b	201.80	321.45b	87.45a
	CK	369.00	227.29c	201.80	343.51a	60.22c

2.3 覆盖方式对马铃薯生长的影响

2.3.1 马铃薯生长指标 不同覆盖方式对马铃薯生长指标的影响见表 4。由表 4 可知,两年各处理对株高及单株生物量有显著性影响,M1、M2 之间多数时期差异不显著($p>0.05$),但好于 M3 及 CK,M3 的株高、单株生物量在平水年(2015 年)明显高于 CK,偏旱年(2016 年)块茎形成至淀粉积累期与 CK 的差异不显著($p>0.05$)。2015 年块茎形成至淀粉积累期各指标值明显高于 2016 年,这可能是淀粉积累期前 2015 年降水(有效降雨 220.0 mm)充足,土壤含水率高,为植株营养生长创造了良好的土壤水分环境,而 2016 年降雨(有效降雨 104.4 mm)稀少,土壤含水率低,严重抑制植株营养生长。

两个生长季 M1、M2、M3 的株高最大值均出现在淀粉积累期,两年平均分别较 CK 最大值增加 19.65%、

7.36%、1.94%;单株生物量最大值 2015 年 M1、M2 出现在淀粉积累期,M3 及 CK 出现在块茎膨大期,2016 年 M1、M2 及 CK 出现在淀粉积累期,M3 出现在块茎膨大期,两个生长季 M1、M2、M3 单株生物量最大值平均较 CK 最大值增加 45.56%、27.14%、8.47%。

2.3.2 马铃薯日平均生长量及日平均耗水量 不同覆盖方式下马铃薯日平均生长量及日平均耗水量见表 5。由表 5 可知,两年各处理株高及单株生物量日增长量及日耗水量有显著性差异,覆盖种植均较 CK 显著降低了前期株高日均生长量 2.96%~36.97%,以 M1 降幅最大,显著增加了后期株高日均生长量 42.89%~286.42%,以 M2 增幅最大。黑膜大垄(M1)及秸秆带状平覆(M2)显著较 CK 增加了后期的日均单株生物量 110.64%~130.39%及日均耗水量 50.90%~339.73%。

表 4 不同覆盖方式对马铃薯生长指标的影响

年份(年)	处理	块茎形成期		块茎膨大期		淀粉积累期	
		株高/cm	单株生物量/g	株高/cm	单株生物量/g	株高/cm	单株生物量/g
2015	M1	61.00a	45.86a	111.25a	128.47a	149.25a	135.00a
	M2	57.68a	42.40a	113.00a	115.29a	135.95a	130.63a
	M3	53.13b	31.94b	116.38a	111.19a	133.70a	110.26b
	CK	49.25b	29.97b	120.00a	96.29a	132.13a	90.39c
2016	M1	33.25a	31.27a	43.10a	42.55a	58.75a	50.05a
	M2	22.85b	26.08a	40.75a	26.72b	52.00ab	39.34b
	M3	26.85b	18.21b	40.40a	30.34b	47.75b	27.63c
	CK	25.35b	18.45b	42.45a	29.91b	46.50b	33.16bc

表 5 覆盖对株高、单株生物量日生长量及日耗水量的影响

处理	2015 年						2016 年					
	块茎形成至膨大期(前期)			膨大至淀粉积累期(后期)			块茎形成至膨大期(前期)			块茎膨大至淀粉积累期(后期)		
	株高/ (cm·d ⁻¹)	单株生物量/ (g·d ⁻¹)	日耗水量/ (mm·d ⁻¹)	株高/ (cm·d ⁻¹)	单株生物量/ (g·d ⁻¹)	日耗水量/ (mm·d ⁻¹)	株高/ (cm·d ⁻¹)	单株生物量/ (g·d ⁻¹)	日耗水量/ (mm·d ⁻¹)	株高/ (cm·d ⁻¹)	单株生物量/ (g·d ⁻¹)	日耗水量/ (mm·d ⁻¹)
	M1	2.18b	3.59a	2.64a	1.65a	0.28a	4.92a	0.62b	0.71a	3.40a	0.37a	0.18ab
M2	2.41b	3.17a	2.71a	1.00ab	0.67a	2.91b	1.07a	0.04b	2.19b	0.27ab	0.30a	1.60a
M3	2.75ab	3.45a	2.83a	0.75ab	-0.04b	2.25ab	0.85ab	0.76a	2.50ab	0.18ab	-0.06b	1.01b
CK	3.08a	2.88a	3.07a	0.53b	-0.26b	1.12c	1.12a	0.72a	3.20a	0.10b	0.08ab	1.09b
平均	2.60	3.27	2.81	0.98	0.16	2.80	0.91	0.55	2.82	0.23	0.12	1.34
极差	0.89	0.71	0.43	1.13	0.92	3.80	0.50	0.72	1.21	0.28	0.37	0.63

3 讨论

覆盖保墒是提高旱地自然降水利用效率的主要措施之一,能够有效提高旱作区农田作物产量^[22]。本研究表明,两年覆盖种植均较露地(CK)提高马铃薯产量和商品薯率,这与汤瑛芳等^[22]、王亚宏等^[23]的研究结论一致。两年秸秆带状覆盖与黑膜大垄间产量增幅不一致,2015 年秸秆带状覆盖(M2、M3)不如黑膜大垄(M1),但 2016 年秸秆带状覆盖(M2、M3)好于黑膜大垄(M1),可能是因为地膜覆盖的增温效应,作物在块茎形成期前较秸秆带状覆盖生长快,使植株后期需水量增大,当降水充足时,能够及时补充块茎形成及膨大期植株所需水分,提高单株产量,如降水偏少,不能及时补充植株后期所需水分时,将严重影响块茎形成及膨大期植株生长,降低单株结薯个数及单株产量,导致产量下降。秸秆带状平覆(M2)与垄沟覆杆(M3)之间差异 2 年均不显著,但无论平水年(2015 年)还是偏早年(2016 年)秸秆带状平覆(M2)略好于垄沟覆杆(M3),这可能是秸秆带状平覆(M2)较垄沟覆杆(M3)促进后期作物营养生长,延缓植株衰老,有利于提高大薯率,增加单株产量有关,这与侯慧芝等^[24]研究结论相似。

王亚宏等^[23]研究认为马铃薯垄面地膜覆盖沟覆草种植模式较露地常规种植明显提高了水分利用效率。侯慧芝等^[24]研究认为全膜覆盖垄上微沟种植能够提高马铃薯对土壤水分的利用效率;李荣等^[25]研究认为深松结合不同地表覆盖方式提高了马铃薯产量和水分利用效率。本试验研究也得到类似的结论,秸秆带状覆盖及黑膜大垄均显著较 CK 提高水分利

用效率 22.82%~48.63%。

本试验表明,2 年秸秆带状覆盖及地膜覆盖 0—200 cm 土层土壤含水率大多数生育时期显著高于 CK,这与刘战东等^[26]、许静等^[27]、蔡太义等^[28]的研究结论相似。关于本研究表明,0—200 cm 土层土壤含水率平水年(2015 年)地膜覆盖(M1)低于秸秆带状覆盖(M2、M3)及 CK,而偏早年份(2016 年)地膜覆盖(M1)在大多数生育时期高于 CK,可能是 2015 年虽为平水年,但马铃薯生育期降雨充沛,因地膜覆盖的增温效应,使植株营养生长和生殖生长较秸秆带状覆盖(M2、M3)及 CK 快,生育期耗水增大,同时地膜的阻渗抑蒸作用,使其在降雨充足时较秸秆带状覆盖(M2、M3)及 CK 阻碍水分下渗,增加棵间蒸发量,降低 0—200 cm 土层土壤含水率;而偏早时,地膜覆盖的抑蒸作用,使其较秸秆带状覆盖(M2、M3)及 CK 降低棵间蒸发量,提高 0—200 cm 土层土壤含水率。

王晓凌等^[29]研究表明垄沟覆膜集雨处理较露地常规种植明显提高了马铃薯生物量;李荣等^[25]研究表明深松结合不同覆盖方式能促进马铃薯的生长发育;申丽霞等^[30]研究表明地膜覆盖能够加快玉米生育进程,而且各时期株高和地上部干物质重均高于常规种植。本试验也得出相似的结论,地膜覆盖(M1)及秸秆带状平覆(M2)无论平水年(2015 年)还是偏早年(2016 年)均较露地常规种植(CK)明显提高块茎形成至淀粉积累期的单株生物量。覆盖处理间,平水年(2015 年)M1、M2 之间各生育时期单株生物量无显著差异($p > 0.05$),但均显著好于垄沟覆杆(M3);偏早年(2016 年)在块茎膨大及淀粉积累期有

显著差异($p < 0.05$),地膜覆盖好于秸秆带状覆盖,带状平覆(M2)好于垄沟覆杆(M3)。说明无论平水年还是偏早年秸秆带状平覆种植(M2)均较垄沟覆杆(M3)提高了生育后期的单株生物量。

从田间生产实际考虑,秸秆带状覆盖种植技术能够解决秸秆资源闲置,提高土壤有机质,较地膜覆盖降低成本,减少残膜污染,与国家绿色农业发展的要求一致,有利于秸秆综合利用,促进生态农业发展。而且玉米秸秆带状覆盖种植技术的保墒效应在平水年及偏早年均好于地膜覆盖,偏早年产量高于地膜覆盖。秸秆带状平覆与垄沟覆盖产量差异不显著,同时秸秆带状平覆较垄沟覆盖操作方便、省工省力。因此,玉米秸秆带状平覆种植可作为一种新技术在西北半干旱地区马铃薯上推广。

4 结论

(1)M1、M2、M3 显著较 CK 提高了株高及地上单株生物量 1.94%~19.65%及 8.47%~45.56%,以黑膜大垄(M1)最好,秸秆带状平覆(M2)次之;黑膜大垄(M1)、秸秆带状平覆(M2)之间多数时期差异不显著($p > 0.05$),但好于垄沟覆杆(M3)及 CK。

(2)覆盖种植能够改善马铃薯田土壤含水率,全生育期 0—200 cm 土层平均含水率平水年(2015 年)黑膜大垄(M1)较 CK 低 0.89 个百分点,偏早年较 CK 高 1.30 个百分点;秸秆带状平覆(M2)无论平水年(2015 年)还是偏早年(2016 年)均好于黑膜大垄(M1)及 CK,分别较 M1 及 CK 高 0.20~0.89 及 0~1.50 个百分点;秸秆带状平覆(M2)与垄沟覆杆(M3)差异两年均不显著($p > 0.05$)。

(3)覆盖种植较 CK 降低全生育期作物耗水量,提高水分利用效率,耗水量以秸秆带状平覆(M2)降幅最大,较 CK 低 55.29~66.21 mm;水分利用效率 M1、M2、M3 平均较 CK 高 22.82%,48.63%,29.91%。

(4)覆盖种植能够增加产量,提高商品薯率,两年 M1、M2、M3 平均较 CK 增产 11.68%,21.74%,16.88%,提高商品薯率 8.98%,6.88%,3.57%。

(5)从蓄水保墒、增产、提高水分利用效率、生态环保及节约成本等方面考虑,秸秆带状平覆(M2)各项指标较优,可作为一种新技术在西北半干旱地区马铃薯上推广。

参考文献:

[1] 王春梅,孟庆岩,占玉林,等.西北干旱区农田春小麦蒸散量的空间插值方法[J].农业机械学报,2014,45(11):172-179.

[2] 达存莹,岳云,贾秀苹.甘肃省马铃薯产业发展现状及主粮化发展分析[J].中国农业资源与区划,2016,37(3):

38-42.

- [3] 李文娟,秦军红,谷建苗,等.从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化[J].中国食物与营养,2015,21(7):5-9.
- [4] 王红丽,张绪成,于显枫,等.黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响[J].生态学报,2016,36(16):5215-5226.
- [5] 银敏华,李援农,张天乐,等.集雨模式对农田土壤水热状况与水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2015,46(12):194-203,211.
- [6] 谷晓博,李援农,银敏华,等.降解膜覆盖对油菜根系、产量和水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2015,46(12):184-193.
- [7] Leonard J, Ancelin O, Ludwig B, et al. Analysis of the dynamics of soil infiltrability of agricultural soils from continuous rain-fall-run off measurements on small plots[J]. Journal of Hydrology,2006,326(1/2/3/4):122-134.
- [8] 王志超,李仙岳,史海滨,等.含残膜土壤水分特征曲线模型构建[J].农业工程学报,2016,32(14):103-109.
- [9] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等.农用地膜残留污染的现状与防治[J].农业工程学报,2006,22(11):269-272.
- [10] 王志超,李仙岳,史海滨,等.农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J].农业机械学报,2015,46(5):101-106,140.
- [11] 薛兰兰.秸秆覆盖保护性种植的养分效应和作物生理生化响应机制研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [12] 张志涛.秸秆覆盖对夏玉米棵间蒸发、生理指标和土壤物理特性的影响研究[D].淄博:山东理工大学,2014.
- [13] 柴守玺.一种旱地秸秆带状覆盖作物种植新技术[J].甘肃农业大学学报,2014,49(5):42.
- [14] 宋亚丽,杨长刚,李博文,等.秸秆带状覆盖对旱地冬小麦产量及土壤水分的影响[J].麦类作物学报,2016,36(6):765-772.
- [15] 李守蕾,杨长刚,李福,等.玉米整秆带状覆盖量对旱地冬小麦土壤水分利用的影响[J].水土保持研究,2016,23(6):122-127.
- [16] 韩凡香,常磊,柴守玺,等.半干旱雨养区秸秆带状覆盖种植对土壤水分及马铃薯产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(7):874-882.
- [17] 郑元红,潘国元,张光旭,等.不同栽培技术对马铃薯水份利用率的影响[J].中国农学通报,2007,23(7):249-252.
- [18] 李艳,余显荣,吴伯生,等.马铃薯不同种植方式对产量性状的影响[J].中国马铃薯,2012,26(6):341-343.
- [19] 门福义,刘梦芸.马铃薯栽培生理[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [20] 蔺海明,周建军,王蒂,等.大整薯稀播对马铃薯农艺性状和产量的影响[J].草业学报,2011,20(3):304-308.
- [21] 张杰,任小龙,罗诗峰,等.环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(6):14-19.