

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.06.021.

刘青, 马建涛, 韩凡香, 等. 不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤水分和耗水的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(6): 197-205.

Liu Qing, Ma Jiantao, Han Fanxiang, et al. Effects of Different Mulching Materials on Soil Moisture and Water Consumption of Potato in Dryland [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(6): 197-205.

不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤水分和耗水的影响

刘青¹, 马建涛¹, 韩凡香², 杨成存¹, 黄彩霞³, 程宏波⁴, 柴守玺¹, 常磊¹

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室/甘肃农业大学农学院, 兰州 730070; 2. 兰州城市学院地理与环境工程学院, 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学水利水电工程学院, 兰州 730070; 4. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 兰州 730070)

摘要: [目的]明确西北半干旱区不同覆盖材料对马铃薯土壤水分及耗水规律的影响, 寻求旱作区保墒抑蒸及降低农田污染问题的最佳种植措施。[方法]于2021年设置了4种覆盖种植模式: 生物可降解地膜覆盖(PM₁)、普通PE地膜覆盖(PM₂)、整秆带状覆盖(SM₁)和碎秆全覆盖(SM₂), 以传统露地平作(CK)为对照, 研究了不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤水分、耗水及产量的影响。[结果]覆盖较CK能显著增加马铃薯全生育期土壤含水量5.7%~9.7%, 且PM₁和PM₂处理均在淀粉积累期增墒幅度最大, 而SM₁和SM₂处理均在块茎膨大期增幅最大; 土层间, PM₁和SM₁处理均以120—180 cm土层增墒幅度最大, 而PM₂和SM₂处理均以0—60 cm土层增幅最大。覆盖显著降低马铃薯全生育期耗水量5.1%~11.2%, 降幅以PM₁处理最大, SM₁处理最小; 与CK相比, 地膜覆盖显著降低生育前期(播种期—块茎形成期)、中期(块茎形成期—淀粉积累期)的耗水, 增加后期(淀粉积累期—成熟期)耗水, 而秸秆覆盖主要降低了生育前期和后期耗水, 增加了中期耗水。覆盖均能增加马铃薯鲜薯产量5.0%~17.1%、干薯产量7.0%~19.0%和水分利用效率15.0%~33.7%, 且秸秆覆盖中增幅均为SM₂>SM₁, 地膜覆盖均为PM₂>PM₁。[结论]秸秆覆盖具有与地膜覆盖相似的增墒增产潜力, 且整秆带状覆盖操作简便, 可在旱地马铃薯生产中推广使用。

关键词: 马铃薯; 地膜覆盖; 秸秆覆盖; 土壤水分; 耗水特性

中图分类号: S532; S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)06-0197-09

Effects of Different Mulching Materials on Soil Moisture and Water Consumption of Potato in Dryland

Liu Qing¹, Ma Jiantao¹, Han Fanxiang², Yang Chengcun¹, Huang Caixia³,

Cheng Hongbo⁴, Chai Shouxi¹, Chang Lei¹

(1. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science/College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Geography and Environmental Engineering, Lanzhou City College, Lanzhou 730070, China; 3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 4. College of Life and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to clarify the effects of different mulching materials on soil moisture and water consumption of potato in the semi-arid area of Northwest China, and to seek the best planting measures for preserving soil moisture, suppressing evaporation, and reducing farmland pollution in dry area. [Methods] Four mulching planting modes were set in 2021: biodegradable mulching (PM₁), PE mulching (PM₂), straw strip mulching (SM₁) and crushed straw mulching on the whole ground (SM₂). The traditional bare land planting without mulching (CK) was used as a control to study the effects of different mulching materials on soil moisture, water consumption and yield of dryland potato. [Results] The soil

收稿日期: 2022-09-01

修回日期: 2022-10-08

资助项目: 国家自然科学基金(31960239, 31760373); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2022CYZC-48); 国家重点研发计划(2021YFD1900700); 甘肃省优秀研究生“创新之星”项目(2022CXZXB-029)

第一作者: 刘青(1999—), 女, 甘肃临泽人, 硕士研究生, 研究方向为作物栽培与耕作学。E-mail: 1242175229@qq.com

通信作者: 常磊(1980—), 男, 甘肃通渭人, 博士, 教授, 主要从事作物生理生态研究。E-mail: chang3258@126.com

<http://stbcj.paperonce.org>

moisture content during the whole growth period under all the mulching significantly increased by 5.7%~9.7% compared with CK, and under the PM₁ and PM₂ treatments, the moisture content had the largest increase during starch accumulation stage, while under the SM₁ and SM₂ treatments the content had the largest increase in the tuber expansion stage. As for the moisture content in soil layers, the PM₁ and SM₁ treatments had the largest increase in 120—180 cm soil layer, while the PM₂ and SM₂ treatments had the largest increase in 0—60 cm soil layer. All the mulching significantly reduced the water consumption of potato during the whole growth period by 5.1%~11.2%, with the largest reduction under the PM₁ treatment and the smallest reduction under the SM₁ treatment. Compared with CK, plastic film mulching significantly reduced the water consumption in early growth periods (from sowing stage to tuber formation stage) and middle growth periods (from tuber formation stage to starch accumulation stage), but increased the water consumption in late growth periods (from starch accumulation stage to maturation stage), while the straw mulching reduced the water consumption mainly in early growth periods and late growth periods, but increased the water consumption in middle growth periods. Mulching could increase fresh potato yield by 5.0%~17.1%, dry potato yield by 7.0%~19.0% and water use efficiency by 15.0%~33.7%, and the increase followed the order: SM₂ > SM₁ under straw mulching and PM₂ > PM₁ in plastic film mulching. [Conclusion] Straw mulching is similar to plastic film mulching in increasing soil moisture and yield, and the straw strip mulching is easy to operate, so it can be widely used in dryland potato production.

Keywords: potato; plastic film mulching; straw mulching; soil moisture; water consumption characteristics

西北黄土高原半干旱区是我国粮油糖和特色农产品的重要生产基地,干旱少雨、水资源匮乏严重制约着该区域农村经济的发展。覆盖蓄水技术已经成为当前国内外广泛使用的农业技术,主要包括地膜覆盖和秸秆覆盖,具有增温保湿、保墒的功效,能有效调控土壤微环境^[1],增产明显,而地膜覆盖材料中应用最广的是聚乙烯塑料地膜(PE膜),其主要优点是经济成本低,提高土壤含水量,显著改善了农作物的水分利用效率,但在自然条件下难降解,随着地膜投入不断增加,长期PE膜覆盖会导致碎片化残留,影响作物水分、养分吸收利用、阻碍作物根系生长,残膜逐年积累导致土壤结构破坏,存在作物减产的风险^[2]。因此,寻找既能提高旱地作物产量及水分利用效率,又绿色环保的覆盖材料是解决这一问题的关键措施之一。

马铃薯是西北旱作区主要栽培作物和特色作物之一,是我国第四大粮食作物,在甘肃省其种植面积超过 $6.825 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[3]。目前生产上主要采用覆盖蓄水技术,不同覆盖栽培可改善作物土壤环境,有利于提高马铃薯产量及水分利用效率。秸秆覆盖和地膜覆盖均能调控马铃薯阶段耗水,其增产和提高水分利用效率效果显著^[4-6]。近年来,一些环保型覆盖材料先后问世,如新型可降解地膜(光降解、生物降解和光-生物双降解)和液态地膜等^[7],其中生物可降解地膜是一种可被土壤微生物利用的外源有机物料,大多可在收获时被土壤微生物降解^[8]。推广使用可降

解地膜可在一定程度上减少白色污染,在玉米^[9]、油菜^[10]作物上证实了这一点,但由于受到生产技术、经济成本和其他因素的限制,并未得到广泛的应用和推广。传统的秸秆覆盖在农作物播种和收获过程中往往会给机械化作业带来很大的困难,并且其明显的降温作用,使得小麦^[11]、玉米等^[12]作物生育前期生长缓慢,有减产风险;而相比于传统的秸秆覆盖模式,碎秆全覆盖将作物秸秆先进行粉碎,再抛撒覆盖在地表,减少了秸秆腐熟时间,提高秸秆还田的利用效率,并显著增加了作物产量^[13]。张蓉等^[14]研究发现,旱地冬小麦种植中,秸秆粉碎覆盖能显著改善土壤的水热条件,有利于小麦生长,进而提高了产量;但秸秆粉碎也因机械的问题存在一定的局限性。而整秆带状覆盖是利用玉米秸秆在田间进行局部覆盖的栽培方式,具有操作简便的优势,并且其解决了传统覆盖降温 and 保墒矛盾,能够有效防止压苗,抑制水分蒸发,进而促进作物增产,已在小麦^[15-16]、马铃薯^[17]和玉米^[18]上推广应用。

目前,在西北黄土高原半干旱雨养农业区,生物可降解地膜覆盖和碎秆全覆盖对该区马铃薯耗水特性及水分利用效率研究鲜见报道。为此本研究设置生物可降解地膜覆盖、普通PE地膜覆盖、整秆带状覆盖和碎秆全覆盖4种覆盖方式,并以传统露地种植为对照,研究不同覆盖材料及方式对马铃薯土壤水分及耗水规律等的影响,以期筛选出适合旱地马铃薯绿

色高效生产模式,为旱地马铃薯高产稳产绿色发展及资源高效利用提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2021年在甘肃省通渭县甘肃农业大学试验基地(105°19'E,35°11'N)进行。该地海拔1750 m,属中温带半干旱气候,无霜期120~170 d,年均气温7.2℃,年日照时数2100~2430 h。作物一年一熟,为典型的旱作雨养农业区。多年平均降水量为390.7 mm,且60%以上集中于7—9月。试验期内日降水量与日均气温分布如图1所示,马铃薯生育期有效降水量(≥ 5 mm)为284.6 mm,属平水年份。试验区土壤质地为黄绵土,0—20 cm土壤容重平均为1.25 g/cm³,土壤有机质含量为5.52 g/kg,速效氮含量为0.65 g/kg,速效磷含量为10.63 mg/kg,速效钾含量为107.1 mg/kg,pH值为8.5。

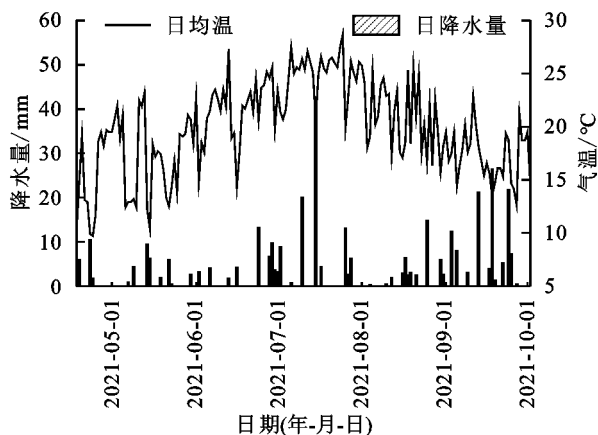


图1 2021年马铃薯全生育期日均温和降水分布

Fig. 1 Distribution of average daily temperature and precipitation in potato during the whole growth period in 2021

1.2 试验设计

试验设5个处理,分别为:生物可降解地膜覆盖(PM₁)(兰州鑫银环全生物降解地膜,由生物材料和聚合物构成,地膜1.2 m宽,0.008 mm厚)、普通PE地膜覆盖(PM₂)(地膜选用幅宽1.2 m,厚0.01 mm的黑色地膜)、整秆带状覆盖(SM₁)、碎秆全覆盖(SM₂)、露地种植(CK),3次重复,随机区组排列。

PM₁:全膜覆盖,大垄宽约100 cm,垄高10 cm,秋季覆盖,垄沟宽约20 cm,株距32 cm,行距60 cm。

PM₂:全膜覆盖,大垄宽约100 cm,垄高10 cm,秋季覆盖,垄沟宽约20 cm,株距32 cm,行距60 cm。

SM₁:覆盖带与种植带交替布置,覆盖带:种植带=60 cm:60 cm,秋季覆盖,人工将玉米整秆铺于覆盖带上,秸秆覆盖量约9000 kg/hm²,每种植带呈正三角形穴播两行马铃薯,株距32 cm,行距60 cm,

总带宽120 cm。

SM₂:秸秆粉碎(切成10~15 cm长)均匀全覆盖于地表,株距32 cm,行距60 cm,秸秆覆盖量9000 kg/hm²,覆盖度100%。

CK:平作不覆盖,株距32 cm,行距60 cm。

供试品种为“陇薯10号”,试验布置于前茬小麦收获后,所有肥料在秋季整地前作为基肥施入,施纯氮120 kg/hm²,P₂O₅为90 kg/hm²,生育期内无追肥。各处理密度和播种深度一致,密度52500株/hm²,播种深度15 cm,两行植株错开呈三角形。田间管理同大田,试验期无灌水,生育期化学防晚疫病2~3次,定期人工除草,4月下旬播种,10月初收获。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤水分测定及计算 于马铃薯播种期、苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和成熟期,用直径0.05 m土钻从马铃薯种植行中间取土样,采用质量烘干法测定0—200 cm土层的土壤含水量。

$$\omega = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中: ω 为土壤含水量(%); M_1 为土壤鲜质量(g); M_2 为烘干土质量(g)。

1.3.2 产量的测定 于马铃薯成熟期每个小区随机取15株进行室内考种,分别调查大薯(>150 g)、中薯(75~150 g)、小薯(<75 g)的个数并称重,并进行产量构成要素分析。计算商品薯率,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。

$$CR = (Y / TY) \times 100\% \quad (2)$$

式中:CR为商品薯率(%);Y为单薯75 g以上的产量(kg/hm²);TY为马铃薯总产量(kg/hm²)。

1.3.3 土壤贮水量的计算

$$W = h \times \rho \times \omega \times 10 \quad (3)$$

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 为土壤含水量(%).

1.3.4 农田耗水量的计算

$$ET = (W_1 - W_2) + P \quad (4)$$

式中:P为马铃薯生育期 ≥ 5 mm有效降水量; W_1 , W_2 分别为某一生育阶段初始和结束时的土壤贮水量(mm)。

1.3.5 水分利用效率的计算

$$WUE = TY / ET \quad (5)$$

式中:WUE为水分利用效率[kg/(mm·hm²)];TY为作物产量(kg/hm²);ET为生育期有效降水耗水量(mm)。

1.3.6 经济效益的计算 成熟期按小区收获计产,按当地市场价,马铃薯商品薯2元/kg,非商品薯0.6元/kg,总经济收益为商品薯与非商品薯的经济收益之和。

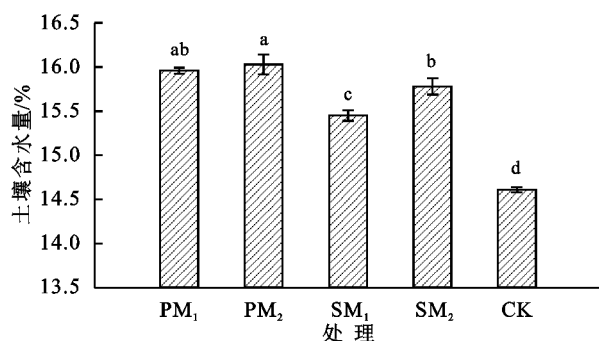
1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 22.0 软件进行数据处理和分析,并用 Sigmaplot 14.0 作图,处理间差异显著性采用 LSD 法进行差异显著性检验($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖材料对土壤含水量的影响

2.1.1 全生育期 0—200 cm 土壤含水量的变化 由图 2 可见,覆盖处理可显著提高全生育期 0—200 cm 土层土壤平均含水量 5.7%~9.7%,平均增墒幅度地膜覆盖>秸秆覆盖。具体来看,与 CK 相比,SM₁,SM₂,PM₁ 和 PM₂ 处理分别显著增加了马铃薯全生育期 0—200 cm 土层土壤含水量 5.7%,8.0%,9.2%,9.7%。



注:误差线表示平均值的标准误($n=3$)。不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。

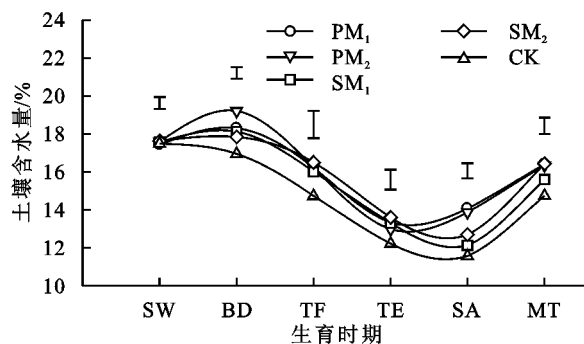
图 2 马铃薯全生育期 0—200 cm 土壤平均含水量

Fig. 2 Average soil water content capacity of 0—200 cm in the whole growth period of potato

2.1.2 不同生育时期全土层土壤含水量的变化 随着生育进程的推进和作物的生长,各处理土壤含水量总体呈现先升后降再升的趋势(图 3)。总体上,各处理土壤含水量均以苗期最高,以淀粉积累期最低。具体来看,与 CK 相比,SM₁ 和 SM₂ 处理分别显著增加了苗期至成熟期土壤水分 4.8%~9.0% 和 5.3%~12.1%,且增幅分别以块茎膨大期和块茎形成期最大。地膜覆盖处理中,PM₁ 和 PM₂ 分别显著较 CK 增加苗期至成熟阶段的土壤含水量 8.0%~21.6% 和 6.2%~19.8%,并且增幅均是淀粉积累期最大。比较各处理时期间变异系数可知,SM₁,SM₂,PM₁,PM₂ 和 CK 的 CV 值分别为 15.2%,13.6%,12.1%,14.4%,16.4%,即覆盖处理能均能较露地对照平抑时期间的土壤水分波动,能为作物生长提供较稳定的供水。

2.1.3 全生育时期不同土层土壤含水量的变化 随土层加深,在马铃薯全生育期各处理各土层含水量大致呈先升后降再升的趋势(图 4)。覆盖处理较对照能显著提高各土层土壤含水量,平均增幅以下层土壤(120—200 cm)最大(9.0%),上层(0—60 cm)次之

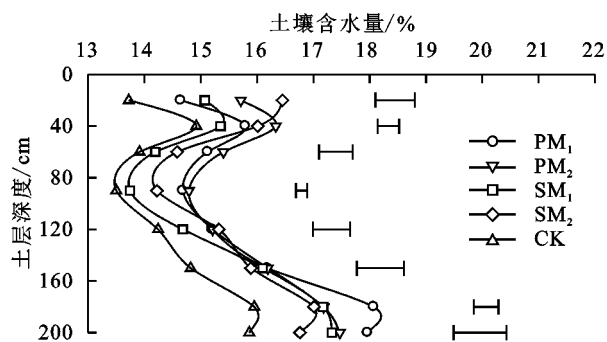
(8.5%),以中层土壤(60—120 cm)最小(6.2%)。具体来看,与 CK 相比,秸秆覆盖处理平均增加了上层、中层和下层土壤含水量 7.8%,4.5%,7.5%,并且上层和中层的增墒幅度均以 SM₂ 处理最大,而下层则以 SM₁ 处理最大。地膜覆盖中,PM₁ 和 PM₂ 处理分别较 CK 增加上层、中层和下层土壤含水量 7.1%,7.8%,11.9% 和 11.6%,8.2%,9.0%,且 PM₁ 处理在下层呈增幅最大,而 PM₂ 处理则在上层最大。分析各处理土层间变异系数可知,SM₁,SM₂,PM₁,PM₂ 和 CK 的 CV 值分别为 8.53,6.37,8.59,5.89,6.42,即覆盖对各处理土壤含水量土层间波动无明显影响。



注:SW 为播种期;BD 为苗期;TF 为块茎形成期;TE 为块茎膨大期;SA 为淀粉积累期;MT 为成熟期。每个土层数据上方的误差线代表 LSD0.05。

图 3 不同生育时期 0—200 cm 土层含水量

Fig. 3 Soil water content of 0—200 cm soil layer in different growth periods



注:每个土层数据旁边的误差线代表 LSD_{0.05},下同。

图 4 全生育时期不同土层土壤含水量

Fig. 4 Soil water content of different soil layers in the whole growth period

2.1.4 不同土层和生育时期土壤含水量的垂直变化特征 覆盖对不同时期不同土层的含水量表现为明显的增墒或降墒效应(图 5)。相比于 CK,各覆盖处理增墒或降墒出现的具体时期、土层差异明显,PM₁ 和 PM₂ 处理在淀粉积累期 60 cm 以下土层增幅最大,分别较 CK 增墒 25.4%,27.5%,降墒幅度最大分别出现在播种期 60 cm 以下土层和 120—200 cm 土层,分别较 CK 降墒 6.0%,4.6%。秸秆覆盖处理中,

SM₁和SM₂处理增幅最大分别出现在块茎膨大期120—200 cm和60—120 cm土层,分别较CK增墒14.1%,22.8%,而降墒幅度最大分别出现在成熟期60—120 cm土层和播种期120—200 cm土层,分别降墒5.5%,5.0%。

各时期各土层处理间差异总体较大,在播种期至块茎形成期以及淀粉积累期以0—60 cm土层最大,

块茎膨大期和成熟期则以60—120 cm土层最大;处理间最小差异分别出现在块茎膨大期、成熟期的0—60 cm土层,播种期、苗期、淀粉积累期的60—120 cm土层,块茎形成期的120—200 cm土层。总体来看,各时期各土层最大差异出现在不同覆盖材料之间,且覆盖处理明显高于露地对照,即覆盖栽培具有良好的保墒效果。

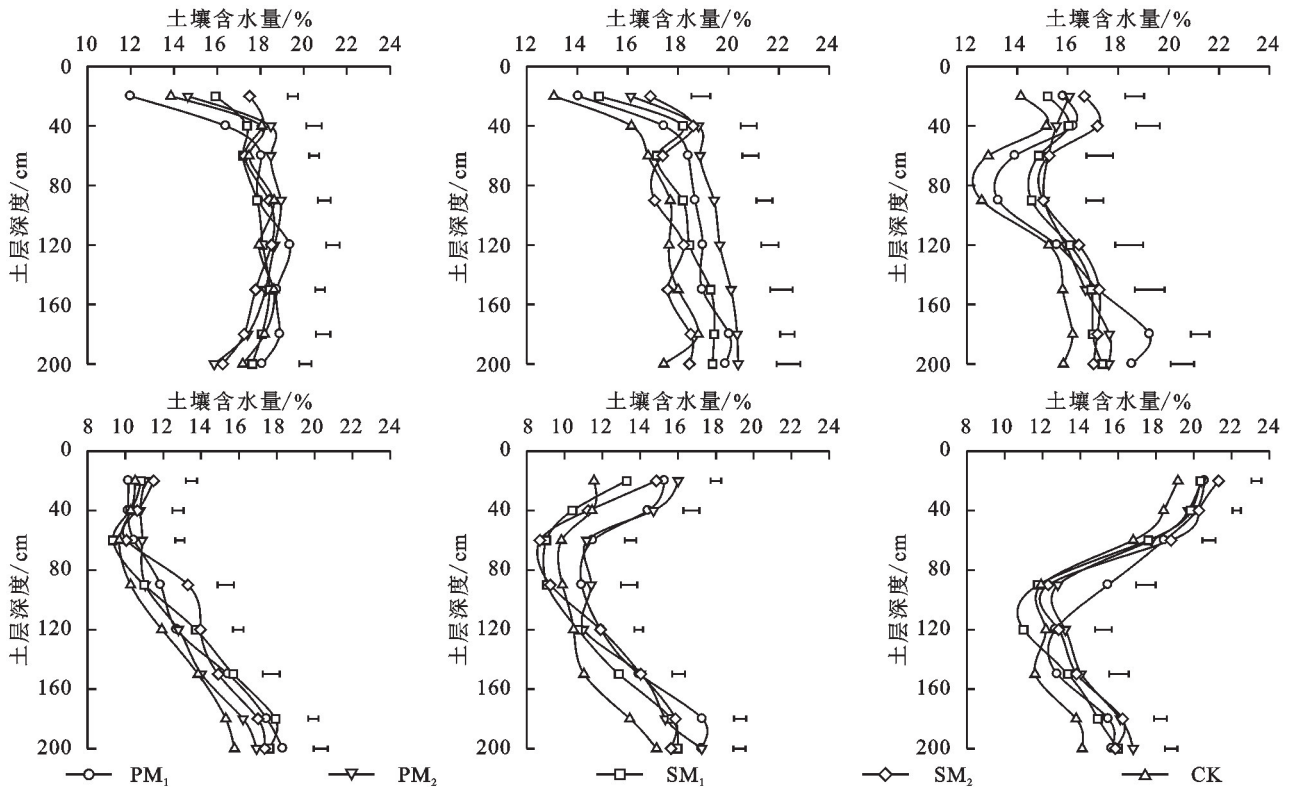


图5 不同处理下马铃薯田0—200 cm土壤含水量垂直变化

Fig. 5 Soil water content in 0—200 cm of potato field varied vertically under different treatments

2.2 不同覆盖方式对马铃薯耗水量的影响

试验年度马铃薯生育期内降水少(284.6 mm),马铃薯耗水70%以上来自降水量,其余部分来自土壤贮水消耗量(表1)。相比于CK,各覆盖处理均显著降低了马铃薯全生育期耗水量和土壤贮水消耗量。不同处理马铃薯农田耗水量较CK的降幅表现为PM₁(11.2%)>SM₂(10.8%)>PM₂(10.5%)>SM₁(5.1%),PM₁,PM₂,SM₁,SM₂处理下的土壤贮水消耗量分别平均比CK低41.2,38.9,18.7,39.9 mm。耗水组成各处理间存在差异,各覆盖处理除SM₁降水量比例和土壤贮水消耗量比例较CK不显著,其余各覆盖处理的降水量比例显著提高,土壤贮水消耗量比例显著降低。表明各覆盖处理下SM₁处理的土壤贮水消耗量对农田总耗水的贡献最大。

2.3 不同覆盖方式对马铃薯阶段耗水量的影响

由表2可知,各处理马铃薯全生育时期耗水量表现出先增大后降低的趋势,马铃薯生育期以块茎形成

期—淀粉积累期阶段耗水最高,其次为播种期—块茎形成期,以淀粉积累期—成熟期耗水最少。具体来看,相比于CK,在马铃薯生育前期(播种期—块茎形成期),各覆盖处理下马铃薯耗水量及耗水比例均明显降低,降幅分别为25.4%~34.3%,20.2%~26.2%,以SM₂处理下降幅最大。马铃薯生育中期(块茎形成期—淀粉积累期),各处理间耗水量无显著差异,PM₁,PM₂分别较CK降低耗水10.5%,7.5%,SM₁,SM₂分别较CK增加耗水6.9%,5.6%;但此阶段由于降水量的明显增加(152.3 mm),各覆盖处理耗水比例均增加,增幅为0.6%~18.4%,其中SM₂处理耗水比例增加最显著。马铃薯生育后期(淀粉积累期—成熟期),此阶段是马铃薯生殖生长阶段,覆盖对该阶段的耗水影响较大,总体表现为地膜覆盖显著增加耗水138.4%,且耗水比例增幅为142.3%~195.9%,均以PM₁>PM₂;而秸秆覆盖降低耗水及其耗水比例,降幅分别为30.5%~89.2%,25.4%~89.5%,以SM₁降幅最小。

表 1 不同覆盖方式对马铃薯总耗水量及其分配的影响
Table 1 Effects of different mulching methods on total water consumption of potato and its distribution

处理	总耗水量/	降水量/	降水	土壤贮水	土壤贮水
	mm	mm	比例/%	消耗/mm	消耗比例/%
CK	369.5a	284.6	77.0b	84.9a	23.0a
PM ₁	328.3c	284.6	86.7a	43.7c	13.3b
PM ₂	330.6c	284.6	86.1a	46.0c	13.9b
SM ₁	350.8b	284.6	81.1b	66.2b	18.9a
SM ₂	329.6c	284.6	86.3a	45.0c	13.7b

注:表中同列不同小写字母表示不同处理在 $p<0.05$ 水平上差异显著,下同。

由上述分析可见,地膜覆盖和秸秆覆盖都能够显著降低马铃薯生育前期的土壤耗水,储蓄了更多土壤水分。而不同覆盖处理下马铃薯生育中后期的耗水规律不尽相同。覆盖处理能够调控生育阶段耗水,促进马铃薯薯块的形成及淀粉积累,进而促进增产。

表 2 马铃薯各生育阶段耗水量及其占总耗水量的比例
Table 2 Water consumption of potato in different growth periods and its proportion in total water consumption

处理	播种期—块茎形成期		块茎形成期—淀粉积累期		淀粉积累期—成熟期	
	数量/mm	比例/%	数量/mm	比例/%	数量/mm	比例/%
CK	123.1a	33.3a	234.3ab	63.4b	12.1b	3.2b
PM ₁	87.1b	26.6ab	209.7b	63.8b	31.6a	9.6a
PM ₂	87.9b	26.6ab	216.7b	65.5b	26.0a	7.9a
SM ₁	91.9b	26.2ab	250.5a	71.4ab	8.4b	2.4b
SM ₂	80.9b	24.6b	247.4a	75.1a	1.3b	0.3b

表 3 不同处理对马铃薯产量及水分利用效率的影响
Table 3 Effects of different treatments on potato yield and water use efficiency

处理	鲜薯产量/ (kg·hm ⁻²)	干薯产量/ (kg·hm ⁻²)	单株结 薯数	单薯重/g	商品 薯率/%	WUE _D / (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
CK	35593.7 e	7137.3d	6.6a	126.2bc	90.8bc	19.3 e
PM ₁	38587.6c	7635.5c	4.0b	175.5a	94.8a	23.3c
PM ₂	40312.7b	8104.4b	6.2a	131.8bc	89.7c	24.5b
SM ₁	37385.1d	7789.7c	6.6a	123.0c	90.7bc	22.2d
SM ₂	41671.1a	8491.7a	5.6a	153.8c	93.3bc	25.8a
CV/%	6.2	6.5	18.7	15.7	2.3	

2.5 不同覆盖方式对马铃薯经济效益的影响

本研究中,各处理每公顷成本中除地膜、人工外,种薯、肥料、农药和机械的投入相同,由于整秆带状覆盖和碎秆全覆盖是使用闲置的玉米秸秆,故秸秆投入成本为 0 元/hm²。同时,由于普通 PE 地膜覆盖在马铃薯收获后需要清除残膜,增加了人工成本,所以普通 PE 地膜覆盖的总投入远高于可降解膜覆盖和秸秆覆盖。由表 4 可知,覆盖均可提高马铃薯总收入,不同覆盖处理下马铃薯纯经济效益不同,其中,与 CK 相比,PM₁,PM₂,SM₁,SM₂处理的马铃薯总收入分别提高 8.5%,13.2%,

2.4 不同覆盖方式对马铃薯产量及水分利用效率的影响

覆盖显著提高了马铃薯鲜薯产量和干薯产量(表 3),且地膜覆盖处理中,普通 PE 地膜覆盖>生物可降解地膜覆盖;秸秆覆盖处理中,碎秆全覆盖>整秆带状覆盖。具体来看,PM₁,PM₂,SM₁,SM₂处理下的鲜薯产量较 CK 依次提高 8.4%,13.3%,5.0%,17.1%,处理间差异均达到显著水平;干薯产量分别显著增加了 7.0%,13.5%,9.1%,19.0%。各覆盖处理间单薯重及商品薯率存在差异,与 CK 相比,除 SM₁处理下单薯重降低 2.5%,其余各覆盖处理均增加,增幅为 4.4%~39.1%,以 PM₁处理下增幅最大;商品薯率以 PM₁和 SM₂处理较高,分别较 CK 提高 4.4%,2.8%,而 PM₂和 SM₁处理较低,分别较 CK 降低 1.2%,0.1%。由处理间变异系数(CV)可见,覆盖对单株结薯数的影响大于单薯重,可见,覆盖种植能显著增加马铃薯产量的原因主要是单株结薯数的提高,其次是增加了单薯重。

各覆盖处理明显改善土壤水环境,且调节马铃薯各生育阶段的耗水及比例,进而显著提高水分利用效率。覆盖处理 PM₁,PM₂,SM₁,SM₂较 CK 依次显著提高水分利用效率 20.7%,26.9%,15.0%,33.7%。表明覆盖处理均能不同程度地提高作物产量及水分利用效率,且 PM₁处理下单薯重、商品薯率最高,其处理效果最佳;SM₁处理下单株结薯数最高;SM₂处理下产量及水分利用效率最高。

表 3 不同处理对马铃薯产量及水分利用效率的影响

Table 3 Effects of different treatments on potato yield and water use efficiency

处理	鲜薯产量/ (kg·hm ⁻²)	干薯产量/ (kg·hm ⁻²)	单株结 薯数	单薯重/g	商品 薯率/%	WUE _D / (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
CK	35593.7 e	7137.3d	6.6a	126.2bc	90.8bc	19.3 e
PM ₁	38587.6c	7635.5c	4.0b	175.5a	94.8a	23.3c
PM ₂	40312.7b	8104.4b	6.2a	131.8bc	89.7c	24.5b
SM ₁	37385.1d	7789.7c	6.6a	123.0c	90.7bc	22.2d
SM ₂	41671.1a	8491.7a	5.6a	153.8c	93.3bc	25.8a
CV/%	6.2	6.5	18.7	15.7	2.3	

5.0%,17.1%。地膜覆盖 PM₁,PM₂处理降低马铃薯纯经济效益,分别较 CK 降低 32.5%,26.7%,而秸秆覆盖 SM₁,SM₂处理提高马铃薯纯经济效益,分别较 CK 提高 2.0%,10.4%。地膜覆盖处理的产投比明显低于 CK,且其产投比相近,而秸秆覆盖处理的产投比与 CK 相近,其中 SM₁处理略微高于 SM₂处理。

3 讨论

3.1 覆盖对土壤水分的影响

覆膜可减少地表裸露面积,进而减少土壤蒸发,

而秸秆覆盖有利于充分利用自然降水并增加土壤水分入渗,可有效抑制棵间土壤的水分蒸发,从而提高土壤含水量^[19]。本研究发现,秸秆覆盖与地膜覆盖在马铃薯全生育时期的土壤含水量显著($p<0.05$)高于对照,这表明覆盖栽培蓄水保墒,能有效改善马铃薯生长发育的耕层土壤水分,这与 Liang 等^[20]的研究结果相似。王红丽等^[21]研究表明,黑色地膜覆盖种植能显著提高 0—200 cm 土层土壤蓄水量,对水分状况具有优化作用,这与本研究结果相似。

本研究中,秸秆覆盖和地膜覆盖均能增加土壤水分,并且增墒效应总体表现为地膜覆盖大于秸秆覆盖,地膜覆盖中以普通 PE 地膜覆盖增加最多,秸秆覆盖中以碎秆全覆盖增加最多,这与陈玉章等^[4]的研究结果一致,即在干旱年份,对于土壤墒情,覆膜优于

秸秆覆盖。推测其原因可能是:4 种不同覆盖材料本身存在的差异,地膜覆盖基本为全封闭覆盖,能够有效阻断大气与膜下水分的流通,抑制土壤水分的蒸发,此外,由于生物可降解地膜后期产生分解性,或其膜分子、膜孔隙度较大,导致生物可降解地膜覆盖的土壤水分略低于普通 PE 地膜覆盖;而整秆带状覆盖为半封闭式覆盖,其蒸散程度比地膜覆盖高,更有利于雨水下渗至更深土层^[22],碎秆全覆盖是将秸秆粉碎后直接铺于地表,能有效减少地表水分蒸发,储存降水,因此马铃薯地膜覆盖土壤含水量明显高于秸秆覆盖,且碎秆覆盖好于整秆覆盖。在本试验中,除播种期,其他各生育时期各覆盖处理 0—200 cm 土层含水量普遍比 CK 高,这与刘战东等^[23]的研究结果相似。

表 4 不同处理下马铃薯的经济效益分析

Table 4 Analyses on economic benefits of potato under different treatments

处理	地膜/玉米秸秆/ (元·hm ⁻²)	人工/ (元·hm ⁻²)	总投入/ (元·hm ⁻²)	总收入/ (元·hm ⁻²)	纯经济收益/ (元·hm ⁻²)	产投比
CK	0	2700	11820	21808.7	9988.7	1.85
PM ₁	2400	5400	16920	23664.7	6744.7	1.40
PM ₂	1950	6300	17370	24693.8	7323.8	1.42
SM ₁	0	3600	12720	22905.8	10185.8	1.80
SM ₂	0	5400	14520	25547.0	11027.0	1.76

注:除地膜、人工外,各处理总投入中的种薯 5 850 元/hm²、肥料 2 100 元/hm²、农药 120 元/hm²、机械 1 050 元/hm²等均相同。

3.2 覆盖对马铃薯生育期耗水的影响

不同耕作覆盖措施及不同生育阶段降水量的分布影响土壤水分及耗水量的变化^[24]。相关研究表明^[6,22],在马铃薯生长前期和后期,覆盖种植下的耗水量及其比例均较低,而在生长中期耗水量及其比例达到最大,在马铃薯成熟时,耗水量及其比例逐渐降低。这与本研究结果基本一致。本研究中,马铃薯生长初期的耗水量及其比例均较小,在马铃薯生育中期,增加了对水分的利用,其耗水量及其比例达到最大,后期又逐渐减少。其主要原因是:块茎形成期到淀粉积累期是马铃薯营养生长和生殖生长的并进阶段,对土壤水分要求较高,是植物的关键需水阶段,由于整秆带状覆盖为半封闭式覆盖,而其余各覆盖处理基本为全封闭式覆盖,且该阶段高温多雨,而秸秆覆盖的降温作用,使得秸秆覆盖耗水大于地膜覆盖。在淀粉积累期到成熟期,由于秸秆覆盖可降低植物呼吸和土壤水分蒸散,而地膜覆盖的增温效应则加剧了植物呼吸代谢,促进土壤水分消耗^[22],所以地膜覆盖的耗水量及其比例显著高于秸秆覆盖和露地平作。

相关研究发现,不同覆盖处理下小麦^[25]、玉米等^[26]作物在其生育期土壤耗水显著高于露地;另有研究发现^[6,22,27],马铃薯全生育期各处理耗水量相比露

地有所降低。本研究中,各覆盖处理全生育期土壤耗水量和贮水消耗量均显著低于露地平作,这可能与不同覆盖材料有关,地膜覆盖和秸秆覆盖均能减少棵间土壤水分蒸发,减少总耗水量,生物降解地膜、普通地膜能提高土壤水分含量,使得作物耗水量远低于露地^[22]。

3.3 覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响

覆盖栽培能显著改善土壤水分状况,从而促进作物的生长发育,最终提高作物产量。Liang^[20]和李辉^[27]等研究认为,水分是提高作物产量的关键,覆盖能降低土壤耗水量,改善土壤含水率,进而提高产量及水分利用效率;Chang 等^[17]研究也发现,覆盖可明显提高土壤含水量和马铃薯产量。本试验中,覆盖处理均能显著较露地平作提高马铃薯产量及水分利用效率,增幅以碎秆全覆盖最高,地膜覆盖中以普通 PE 地膜覆盖高。分析原因:一方面覆盖在马铃薯各生育时期均能起到显著的保水作用,能抑制水分蒸发,促进马铃薯对土壤水分的利用,进而使产量增加^[27]。另一方面,地膜覆盖可通过保持土壤水分、减少耗水、提高土壤温度而促进增产,由于生物可降解地膜后期产生分解,其保墒效果不如普通 PE 地膜;而秸秆覆盖中,整秆带状覆盖和碎秆全覆盖均能降低土壤温度、改善土壤水分状况,减少无效消耗,且碎秆全覆盖

增墒保水效果更佳,因此其产量及水分利用效率显著高于其他处理。此外,由于普通 PE 地膜覆盖存在污染问题,而生物可降解地膜覆盖虽增墒效果不如普通 PE 地膜覆盖,但又好于秸秆覆盖,考虑到成本过高,因此不适用于小农经济;秸秆覆盖中以碎秆全覆盖产量较高,但操作麻烦,而且不宜机械收获。综合来看,整秆带状覆盖是一项在旱地马铃薯上节本且高效的种植技术,适宜在西北半干旱秸秆资源丰富地区推广应用。

4 结论

(1) 覆盖均能显著较 CK 增加马铃薯全生育时期 0—200 cm 土壤含水量。且降解地膜保墒效果与传统 PE 膜相当,碎秆覆盖好于整秆覆盖。

(2) 覆盖均显著降低马铃薯全生育期耗水量,以生物可降解地膜覆盖降幅最大;同时,地膜覆盖均显著降低了马铃薯生育前中期的耗水量,显著增加了后期耗水量,而秸秆覆盖处理主要降低了生育前期和后期耗水,增加了中期耗水。

(3) 覆盖均显著提高马铃薯干薯产量及水分利用效率,增幅分别为 7.0%~19.0%,15.0%~33.7%。其中碎秆全覆盖处理下经济效益、产量及水分利用效率最高,生物可降解地膜覆盖处理下单薯重、商品薯率最高,整秆带状覆盖处理下产投比最高。可见,地膜覆盖和秸秆覆盖均对土壤具有蓄水保墒、合理调控马铃薯耗水的作用,且整秆带状覆盖节本高效,因此整秆带状覆盖可作为西北旱作区马铃薯覆盖栽培的高产稳产绿色生产模式。

参考文献:

- [1] 林叶春,曾昭海,唐海明,等.双季稻田马铃薯不同覆盖栽培对土壤酶活性的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(1):13-18.
Lin Y C, Zeng Z H, Tang H M, et al. Soil enzyme activity in spring potato fields under different mulching practices in double rice cropping area[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011,19(1):13-18.
- [2] Gao H H, Yan C R, Liu Q, et al. Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis[J]. Science of the Total Environment, 2019,651(1):484-492.
- [3] 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.
Da C Y, Yue Y, Jia X P. Analysis of the development of potato production area layout and the staple food of Gansu[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2016,37(3):38-42.
- [4] 陈玉章,田慧慧,李亚伟,等.秸秆带状沟覆垄播对旱地马铃薯产量和水分利用效率的影响[J].作物学报,2019,45(5):714-727.
Chen Y Z, Tian H H, Li Y W, et al. Effects of straw strip mulching on furrows and planting in ridges on water use efficiency and tuber yield in dryland potato[J]. Acta Agronomica Sinica, 2019,45(5):714-727.
- [5] Zhang Y L, Wang F X, Shock C C, et al. Effects of plastic mulch on the radiative and thermal conditions and potato growth under drip irrigation in arid north-west China[J]. Soil & Tillage Research, 2017,172(1):1-11.
- [6] 李芬,侯贤清,李荣.沟垄二元覆盖对旱作马铃薯耗水特征、产量及水分利用效率的影响[J].核农学报,2019,33(12):2472-2481.
Li F, Hou X Q, Li R. Effect of dual-mulching of ridge-and-furrow on water consumption characteristics, yield and water use efficiency of potato in dryland farming[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2019,33(12):2472-2481.
- [7] 申丽霞,兰印超,李若帆.不同降解膜覆盖对土壤水热与玉米生长的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(1):200-206.
Shen L X, Lan Y C, Li R F. Effects of different degradable films on soil moisture, temperature and growth of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018,36(1):200-206.
- [8] 丁凡,李诗彤,王展,等.塑料和可降解地膜的残留与降解及对土壤健康的影响:进展与思考[J].湖南生态科学学报,2021,8(3):83-89.
Ding F, Li S T, Wang Z, et al. Residue and degradation of plastic and degradable mulch in cropland and their effects on soil health: Progress and perspective[J]. Journal of Hunan Ecological Science, 2021,8(3):83-89.
- [9] Yin M H, Li Y N, Fang H, et al. Biodegradable mulching film with an optimum degradation rate improves soil environment and enhances maize growth[J]. Agricultural Water Management, 2019,216:127-137.
- [10] Gu X B, Li Y N, Du Y D. Biodegradable film mulching improves soil temperature, moisture and seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)[J]. Soil & Tillage Research, 2017,171(1):42-50.
- [11] Taa A, Tanner D, Bennie A T. Effects of stubble management, tillage and cropping sequence on wheat production in the south-eastern highlands of Ethiopia[J]. Soil & Tillage Research, 2004,76(1):69-82.
- [12] Lu X J, Li Z Z, Sun Z H, et al. Straw mulching reduces maize yield, water, and nitrogen use in northeastern China[J]. Agronomy Journal, 2015,107(1):406-414.
- [13] 陈小花,马德良,李继明,等.秸秆粉碎覆盖栽培对马铃薯

- 薯产量及经济性状的影响[J].中国马铃薯,2020,34(1):31-38.
- Chen X H, Ma D L, Li J M, et al. Effects of smashed straw mulching ridge tillage on yields and economic characters of potato[J]. Chinese Potato Journal, 2020, 34(1):31-38.
- [14] 张蓉,董禄信,孙长红,等.秸秆粉碎覆盖沟播对旱地冬小麦产量及土壤水热特征的影响[J].节水灌溉,2021(7):60-64.
- Zhang R, Dong L X, Sun C H, et al. Effects of straw crushing & mulching and furrow sowing on winter wheat yield and soil hydrothermal characteristics in dryland[J]. Water Saving Irrigation, 2021(7):60-64.
- [15] Li Y W, Chai S X, Chai Y W, et al. Effects of mulching on soil temperature and yield of winter wheat in the semiarid rainfed area[J]. Field Crops Research, 2021,271:108244.
- [16] Chai Y W, Chai Q, Li R, et al. Straw strip mulching in a semiarid rainfed agroecosystem achieves winter wheat yields similar to those of full plastic mulching by optimizing the soil hydrothermal regime[J]. Crop Journal, 2022,10(3):879-892.
- [17] Chang L, Han F X, Chai S X, et al. Straw strip mulching affects soil moisture and temperature for potato yield in semiarid regions[J]. Agronomy Journal, 2020, 112(2):1126-1139.
- [18] 梅四卫,朱涵珍,王术,等.不同覆盖方式对土壤水肥热状况以及玉米产量影响[J].灌溉排水学报,2020,39(4):68-73.
- Mei S W, Zhu H Z, Wang S, et al. Effects of different mulching methods on soil moisture, nutrient, temperature status and corn yield [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020,39(4):68-73.
- [19] 李富春,王琦,张登奎.覆盖材料对垄沟集雨种植高粱生长特性及土壤水分、温度的影响[J].草原与草坪,2018,38(1):35-43.
- Li F C, Wang Q, Zhang D K. Effects of furrow mulching materials on soil water, temperature and yield of sorghum in ridge-furrow rainwater harvesting production[J]. Grassland and Turf, 2018,38(1):35-43.
- [20] Liang S M, Ren C, Wang P J, et al. Improvements of emergence and tuber yield of potato in a seasonal spring arid region using plastic film mulching only on the ridge[J]. Field Crops Research, 2018,223:57-65.
- [21] 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.
- Wang H L, Zhang X C, Yu X F, et al. Effect of using black plastic film as mulch on soil temperature and moisture and potato yield[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016,36(16):5215-5226.
- [22] 马建涛,程宏波,陈玉章,等.不同覆盖方式对旱地马铃薯耗水特性和产量的影响[J].生态学杂志,2020,39(7):2242-2250.
- Ma J T, Cheng H B, Chen Y Z, et al. Effects of different mulching practices on soil water consumption and potato tuber yield in dryland farming[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020,39(7):2242-2250.
- [23] 刘战东,高阳,刘祖贵,等.降雨特性和覆盖方式对麦田土壤水分的影响[J].农业工程学报,2012,28(13):113-120.
- Liu Z D, Gao Y, Liu Z G, et al. Effects of rainfall characteristics and covering methods on soil moisture of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012,28(13):113-120.
- [24] 韩固,苗芳芳,王楠,等.深松覆盖模式对宁南地区雨养马铃薯水分利用效率的影响[J].中国农业气象,2021,42(11):905-917.
- Han G, Miao F F, Wang N, et al. Effects of subsoiling with mulching pattern on water use efficiency of potato in rainfed region of southern Ningxia[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2021,42(11):905-917.
- [25] 杨长刚,柴守玺,常磊,等.不同覆膜方式对旱作冬小麦耗水特性及籽粒产量的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):661-671.
- Yang C G, Chai S X, Chang L, et al. Effects of plastic mulching on water consumption characteristics and grain yield of winter wheat in arid region of northwest China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(4): 661-671.
- [26] 王红丽,张绪成,宋尚有,等.西北黄土高原旱地全膜双垄沟播种对玉米季节性耗水和产量的调节机制[J].中国农业科学,2013,46(5):917-926.
- Wang H L, Zhang X C, Song S Y, et al. Regulation of whole field surface plastic mulching and double ridge-furrow planting on seasonal soil water loss and maize yield in rain-fed area of northwest loess plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013,46(5):917-926.
- [27] 李辉,柴守玺,常磊,等.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[J].水土保持学报,2017,31(6):148-156,256.
- Li H, Chai S X, Chang L, et al. Effects of straw strip mulching on soil moisture and potato yield in north-west semi-arid region of China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017,31(6):148-156,256.