网络出版时间:2025-10-31 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.04.008

秸秆带状覆盖对旱作马铃薯光合特性的影响

赵阳青[1],张姚[1],马建涛[1],张建彤[1],常磊[1],程宏波[2],柴雨葳[1],柴守玺[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,甘肃 兰州 730070;
2 甘肃农业大学 生命科学技术学院,甘肃 兰州 730070)

[摘 要] 【目的】研究覆盖栽培对旱作马铃薯土壤水热及光合特性的影响,以期为旱区马铃薯的高效栽培提供参考。【方法】以'陇薯7号'为试验材料,以甘肃省通渭县旱作循环农业试验基地为研究区,2022-2023年分别在该区设置露地平作(CK)、秸秆带状覆盖(SM)和地膜覆盖(PM)3个处理,测定不同处理马铃薯的土壤水热、光合特性和产量等指标。【结果】与CK相比,SM和PM处理显著提高了马铃薯全生育期0~200 cm土层土壤贮水量,且SM处理在马铃薯块茎增长期至成熟期的增墒效应优于PM处理。与CK相比,SM处理马铃薯全生育期0~25 cm土层土壤平均温度显著降低了1.6~2.0 ℃,而PM处理马铃薯全生育期0~25 cm土层土壤平均温度却显著升高0.9~2.0 ℃。覆盖对马铃薯净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间CO_2浓度(C_i)及气孔导度(G_s)均有显著影响。与CK相比,在马铃薯块茎形成期至块茎增长期,SM处理P_n、T_r、G_s分别显著提高16.3%~51.9%,13.8%~28.6%,31.0%~66.4%,PM处理P_n、T_r、G_s分别显著提高22.0%~38.2%,9.1%~33.9%,36.8%~55.8%,而SM和PM处理C_i分别显著降低6.0%~11.2%和2.7%~8.5%;但在淀粉积累期,PM处理T_r显著降低了7.4%~13.7%。与CK相比,在马铃薯块茎形成期至块茎增长期,SM处理的叶绿素相对含量(SPAD)显著提高了10.9%~20.6%;但在淀粉积累期PM处理的叶绿素相对含量(SPAD)显著降低了6.2%~8.0%。与CK相比,2022年SM和PM处理鲜薯产量分别显著增加了14.5%和23.6%,干薯产量分别显著增加了22.5%和21.5%,商品薯率分别显著提高了9.5和6.0个百分点;2023年SM和PM处理鲜薯产量分别显著增加了28.6%和22.9%,干薯产量分别显著增加了46.3%和29.3%,商品薯率分别显著提高了8.6和6.2个百分点。相关性分析结果表明,马铃薯干薯产量与单薯质量、土壤贮水量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶片水分利用效率均呈极显著正相关,与胞间CO_2浓度呈极显著负相关,与叶绿素相对含量呈显著正相关;土壤贮水量与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、单薯质量呈极显著正相关,与胞间CO_2浓度呈显著负相关,与叶片水分利用效率呈显著正相关。【结论】秸秆带状覆盖提高了旱作马铃薯全生育期土壤贮水量,降低了土壤温度,显著提高了马铃薯的光合能力,可实现马铃薯高产,是适宜西北旱作区马铃薯生产的绿色高效栽培技术。

[关键词] 马铃薯;旱作栽培;地膜覆盖;秸秆带状覆盖;光合特性
[中图分类号] S532 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)04-0063-11

Effects of straw strip mulching on photosynthetic characteristics of dryland potatoes

ZHAO Yangqing[1], ZHANG Yao[1], MA Jiantao[1], ZHANG Jiantong[1], CHANG Lei[1], CHENG Hongbo[2], CHAI Yuwei[1], CHAI Shouxi[1]
(1 *Gansu Province Key Laboratory of Aridland Crop Science, College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 2 *College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*)

[收稿日期] 2024-12-16 [修回日期] 2025-05-25
[基金项目] 甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2022CYZC-48);国家重点研发计划项目(2021YFD1900700,2022YFD2001304);甘肃省科技计划项目(22CX8NA046);国家自然科学基金项目(31960239)
[作者简介] 赵阳青(1998-),男,甘肃清水人,在读硕士,主要从事作物栽培与生态生理研究。E-mail:17899319794@163.com
[通信作者] 柴守玺(1962-),男,甘肃会宁人,教授,博士,主要从事作物栽培与生态生理研究。E-mail:sxchai@126.com
柴雨葳(1989-),男,甘肃会宁人,教授,博士,主要从事作物栽培与生态生理研究。E-mail:chaiyw@126.com

中国知网 https://www.cnki.net

Abstract:【Objective】This study aimed to investigate the effects of mulching cultivation on soil hydrothermal conditions and photosynthetic characteristics of dryland potatoes, providing references for the efficient cultivation of potatoes in this region.【Method】Using 'Longshu 7' as the test material and taking the Tongwei Modern Dryland Circular Farming Experiment Station, Gansu Province as the study area, three treatments were set up from 2022 to 2023: open-field flat planting (CK), straw strip mulching (SM), and plastic film mulching (PM). Soil hydrothermal conditions, photosynthetic characteristics, yield and other indicators of potatoes under different treatments were measured.【Result】Compared with CK, both SM and PM treatments significantly increased the soil water storage in the 0—200 cm soil layer during the entire growth period of potatoes. Notably, SM treatment exhibited a superior soil moisture retention effect compared to PM treatment from the tuber expansion stage to maturity stage. SM treatment significantly reduced the average soil temperature in the 0—25 cm soil layer by 1.6—2.0 ℃ throughout the entire growth period compared with CK, whereas PM treatment significantly increased the average soil temperature by 0.9—2.0 ℃. Mulching had significant effects on the net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), intercellular CO_2 concentration (C_i), and stomatal conductance (G_s) of potatoes. Compared with CK, during the period from tuber initiation to tuber expansion stage, SM treatment significantly increased P_n, T_r, and G_s by 16.3%—51.9%, 13.8%—28.6%, and 31.0%—66.4%, respectively, and decreased C_i by 6.0%—11.2%. PM treatment significantly increased P_n, T_r, and G_s by 22.0%—38.2%, 9.1%—33.9% and 36.8%—55.8%, respectively, and decreased C_i by 2.7%—8.5%. However, the T_r in the PM treatment significantly decreased by 7.4%—13.7% during starch accumulation stage. Compared with CK, during the period from tuber initiation to tuber expansion stage, SM treatment significantly increased the relative chlorophyll content (SPAD) by 10.9% — 20.6% in potatoes, while PM treatment significantly decreased SPAD by 6.2% — 8.0% during the starch accumulation stage. Compared with CK in 2022, the fresh tuber yields of SM and PM treatments increased by 14.5% and 23.6%, respectively. The dry tuber yields increased by 22.5% and 21.5%, respectively, and the commercial potato rates increased by 9.5 and 6.0 percentage points, respectively. In 2023, the fresh tuber yields of SM and PM treatments increased significantly by 28.6% and 22.9%, respectively. The dry tuber yields increased significantly by 46.3% and 29.3%, respectively, and the commercial potato rates increased significantly by 8.6 and 6.2 percentage points, respectively. Correlation analysis showed that the dry tuber yield was extremely significantly positively correlated with single tuber weight, soil water storage, net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s), and leaf water use efficiency, and extremely significantly negatively correlated with intercellular CO_2 concentration. It was significantly positively correlated with relative chlorophyll content. Soil water storage was extremely significantly positively correlated with net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s), and single tuber weight. It was significantly negatively correlated with intercellular CO_2 concentration, and significantly positively correlated with leaf water use efficiency.【Conclusion】Straw strip mulching increases soil water storage throughout the entire growth period of dryland potatoes, reduces soil temperature, and significantly enhances photosynthetic capacity of potatoes, enabling high potato yield. It is a green and efficient cultivation technology suitable for potato production in the dryland areas of Northwestern China.

Key words: potato; dryland cultivation; plastic film mulching; straw strip mulching; photosynthetic characteristics

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是黄土高原雨养农业区重要的粮食作物,年种植面积约为135万hm^2,占全国马铃薯总种植面积的36%[1]。西北黄土高原雨养农业区水资源短缺,早春低温冻害与季节性干旱等极端气候频发,严重制约了马铃薯稳产高产的形成[2]。光合作用是干物质积累和分配的重要驱动力,也是经济产量形成的决定性因素[3],其对水分和温度胁迫高度敏感[4]。研究表明,土壤缺水和

中国知网 https://www.cnki.net

高温会抑制作物的根系活动，降低叶片水势、叶面积指数和叶绿素相对含量，从而降低净光合速率和蒸腾速率，进而影响产量和水分利用效率[5-6]。因此，如何科学、合理地利用栽培技术，创造适宜的土壤水热环境，保持生育期马铃薯较高的光合能力，是目前旱作区马铃薯增产稳产的关键。

以地膜覆盖和秸秆覆盖为主的栽培技术，因其良好的水温调控和增产能力被我国旱作区广泛应用[7]。其中地膜覆盖可以提高土壤温度，增加土壤对太阳辐射的反射率和空气对水汽交换的阻力，减少水分耗散[7-9]；秸秆覆盖通过调节土壤温度和提高降雨入渗能力，改善作物生长环境以保持土壤水分[10-11]。覆盖对土壤水分和温度的调控效应，也会影响作物的光合特性[12]。研究表明，秸秆覆盖和地膜覆盖通过有效调节耕层土壤的水热环境，为光合色素正常合成及光合面积增长提供保障，从而提升作物的净光合速率、蒸腾速率等光合指标，调控干物质积累及运输速率，促使作物产量提高 9.1%～23.9%[12-14]。但也有研究表明，在地膜覆盖马铃薯生育后期，膜内高温使叶片中关键代谢酶活性降低，导致根系或叶片衰老，叶面积指数降低，不利于马铃薯生长发育[15]。此外，还有研究表明，秸秆全地面覆盖降温幅度过大，影响作物早期生长发育，导致作物产量不增反减[16]。

因此，本研究提出一种秸秆局部覆盖栽培技术，即秸秆带状覆盖，该技术将玉米秸秆覆盖带与种植带交替排列，有效解决了西北旱作马铃薯秸秆全地面覆盖时保墒与降温的矛盾。已有研究表明，秸秆带状覆盖可有效提高土壤水分 3.5%～13.5%，降低土壤温度 0.9～2.2 ℃，显著提高鲜薯产量 11.0%～25.3%[11,17]。但关于秸秆带状覆盖对土壤水温的调控是否会影响光合特性，进而影响产量尚未见报道。为此，本研究以‘陇薯 7 号’为试验材料，在甘肃省通渭县旱作循环农业试验基地，分别设置秸秆带状覆盖、地膜覆盖和露地平作 3 种栽培模式，分析不同栽培模式下马铃薯田土壤水热变化、叶片光合参数、叶绿素含量及产量间的关系，以期为该地区马铃薯高产优质栽培提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于 2022－2023 年在甘肃省通渭县旱作循环农业试验基地（35°11′ N，105°19′ E）进行，该地属中温带半干旱气候区，平均海拔 1 750 m，年日照时数 2 096 h，年均温度 7.2 ℃，无霜期 155 d，年均降水量 390.7 mm，约 60% 降水集中在 7－9 月。土壤为黄绵土，0～20 cm 土层土壤体积质量为 1.25 g/cm^3，pH 8.2，土壤有机质含量 11.7 g/kg，速效氮含量 0.8 g/kg，速效磷含量 10.6 mg/kg，速效钾含量 122.7 mg/kg。

试验年度大气温度和降水量数据由试验站实地观测和采集，结果如图 1 所示。2022 和 2023 年马铃薯生育期内土壤有效积温（≥10 ℃）分别为 1 653.0 和 1 737.3 ℃，有效降水量（≥5 mm）分别为 214.1 和 224.6 mm。

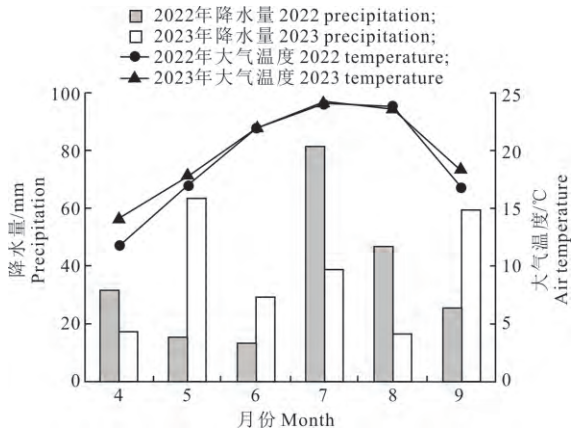


图 1　2022－2023 年马铃薯生长季大气温度和降水量

Fig. 1　Air temperature and precipitation during the potato growing season of 2022－2023

1.2　供试材料

供试马铃薯品种为‘陇薯 7 号’，由甘肃省农业科学院马铃薯研究所提供。

1.3　试验设计

试验共设地膜覆盖（PM）、秸秆带状覆盖（SM）和露地平作（CK）3 个处理，其中地膜覆盖（PM）处理：用黑色聚乙烯地膜（宽 1.2 m，厚 0.01 mm）起垄覆盖，分交替的大垄（0.8 m 宽）和小垄（0.4 m 宽），大垄顶部未覆盖且有 0.1 m 渗水区，在大垄上穴播种 2 行，行距 0.6 m，株距 0.3 m；秸秆带状覆盖（SM）：玉米秸秆覆盖带（0.7 m 宽）与种植带（0.5 m 宽）交替排列，秸秆覆盖量约 9×10^3 kg/hm^2，种植带上穴播种 2 行，行距 0.6 m，株距 0.3 m；露地平作（CK）：传统的平作不覆盖穴播种植，行距 0.6 m，株距 0.3 m。各处理采取随机区组设计，小区面积 180 m^2（30 m×6 m），每处理 3 次重复。种植密度均为 5.55 万株/hm^2，播种深度 15 cm。试验在上茬冬小麦收获后布置，于 10 月底进行覆地膜及覆秸秆。基施纯 N 120 kg/hm^2、P_2O_5 90 kg/hm^2，整地旋耕时

中国知网　https://www.cnki.net

均匀混入土壤耕层,生育期内不再追肥,定期人工除草及防控病虫害。马铃薯于每年4月中旬播种,10月初收获。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤贮水量 在马铃薯播种期、幼苗期、现蕾期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期和收获期,采用土钻法分别对各小区0~20,20~40,40~60,60~90,90~120,120~150,150~180,180~200 cm土层进行土样采集,用烘干法(105 ℃)测定土壤含水量,计算土壤贮水量。

$$SWC=(W_1-W_2)/W_2\times 100\%;$$

$$SWS=h\times\rho\times SWC\times 10。$$

式中:SWC为土壤含水量,%;W_1为土壤鲜质量,g;W_2为土壤干质量,g;SWS为土壤贮水量,mm;h为土层深度,cm;ρ为土壤体积质量,g/cm^3。

1.4.2 土壤温度 在马铃薯幼苗期、现蕾期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期和收获期,采用曲管地温计测定各小区5,10,15,20,25 cm土层土壤温度。选择晴天于07:00,14:00和19:00读取温度。

1.4.3 光合指标 在马铃薯块茎形成期、块茎增长期和淀粉积累期,每小区选取长势一致的3株马铃薯,于晴朗无风天气09:00-11:00,采用Li-6400型便携式光合仪测定马铃薯生长点向下第4片功能叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间CO_2浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r),根据光合参数计算叶片水分利用效率(WUE)。

$$WUE=P_n/T_r。$$

1.4.4 叶绿素相对含量 在马铃薯块茎形成期、块茎增长期和淀粉积累期,每小区选取长势一致的3株马铃薯,采用TYS-B型叶绿素仪测定生长点向下第4片功能叶的叶绿素相对含量(SPAD)。

1.4.5 产量 马铃薯收获期按小区实收计产。每小区选取连续15株进行考种,测定单株薯数、单薯质量,计算鲜薯产量、干薯产量和商品薯率。

商品薯率=(≥75 g块茎质量/所有块茎产量)×100%。

1.5 数据处理

采用Microsoft Excel 2019整理试验数据,采用SPSS 27.0进行统计分析,采用LSD法进行不同处理间差异显著性分析,以$P<0.05$为差异显著,使用Origin 2022绘图。

2 结果与分析

2.1 覆盖方式对马铃薯田0~200 cm土层土壤贮水量的影响

由表1可知,在马铃薯生育期内,覆盖具有明显的蓄水保墒效果,且覆盖的保墒效果因年份而异,在相对干旱的年份效果更好。与CK相比,SM和PM处理显著提高了马铃薯田0~200 cm土层土壤贮水量。在播种期、幼苗期、现蕾期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期和收获期,SM处理土壤贮水量分别较CK显著提高了7.9~28.6,21.2~42.2,26.4~50.4,26.7~27.6,29.5~44.2,34.2~35.5和23.8~56.8 mm,PM处理土壤贮水量分别较CK显著提高了31.4~42.6,67.2~71.2,48.7~57.5,14.8~32.2,10.9~28.4,17.0~22.8和20.5~52.5 mm。在播种期~块茎形成期,PM处理土壤贮水量的增幅略大于SM处理;但在块茎增长期~收获期,SM处理土壤贮水量的增幅大于PM处理。

表1 2022-2023年马铃薯各生育时期土壤贮水量

Table 1 Soil water storage at different growth stages of potatoes of 2022-2023

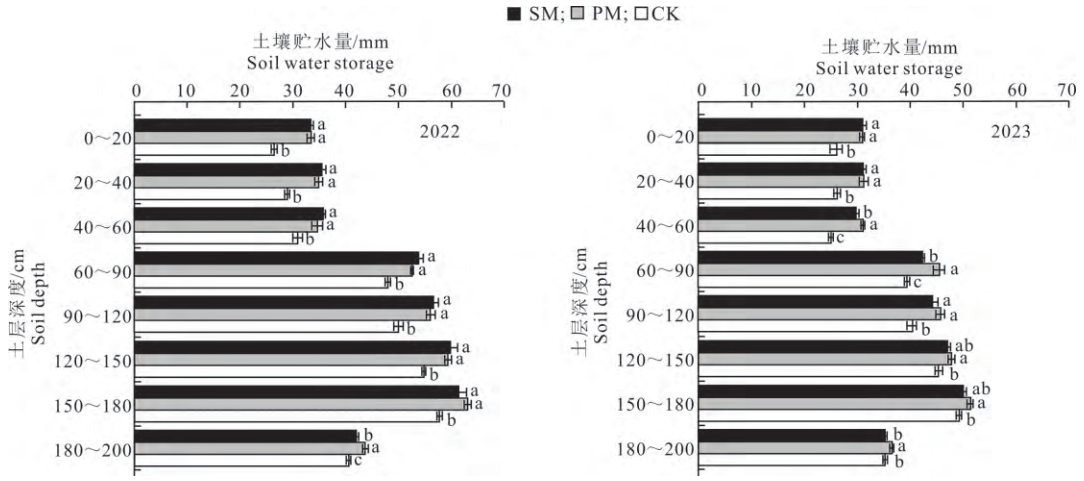
年份 Year	处理 Treatment	土壤贮水量/mm Soil water storage						
		播种期 Sowing stage	幼苗期 Seedling stage	现蕾期 Bud stage	块茎形成期 Tuber initiation stage	块茎增长期 Tuber expansion stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	收获期 Maturity stage
2022	SM	428.56±2.12 a	422.51±20.44 a	385.64±3.26 a	366.54±6.09 a	344.15±1.14 a	356.61±11.67 a	345.57±2.15 a
	PM	431.36±1.78 a	451.45±16.05 a	383.98±8.33 a	371.18±7.03 a	328.40±8.31 b	338.15±5.88 b	341.33±4.82 a
	CK	399.96±1.43 b	380.29±11.28 b	335.23±1.19 b	338.93±3.70 b	299.98±1.44 c	321.14±2.49 c	288.81±4.34 b
2023	SM	293.86±1.19 b	332.75±5.59 b	323.36±3.46 b	323.69±6.58 a	287.51±2.62 a	276.16±3.04 a	334.00±5.01 a
	PM	328.64±1.72 a	378.71±1.59 a	354.47±2.75 a	311.77±10.70 a	268.95±2.43 b	264.68±12.56 a	330.70±3.32 a
	CK	285.99±0.87 c	311.55±11.64 c	296.94±2.15 c	296.95±2.57 b	258.02±2.92 c	241.92±5.76 b	310.16±2.30 b

注:SM. 秸秆带状覆盖;PM. 地膜覆盖;CK. 露地平作。同列数据后标不同小写字母表示相同年份不同处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: SM. Straw strip mulching; PM. Plastic film mulching; CK. Open-field flat planting. Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences among treatments in the same year ($P<0.05$). The same below.

中国知网 https://www.cnki.net

由图2可知，与CK相比，覆盖处理（SM和PM）显著提高了马铃薯全生育期不同土层的土壤贮水量。与CK相比，SM处理0～60，60～120和120～200 cm土层土壤贮水量分别显著增加了14.6～18.2，6.8～12.4和2.8～10.2 mm，PM处理0～60，60～120和120～200 cm土层土壤贮水量分别显著增加16.1～16.6，10.6～11.5和6.2～13.0 mm。但同一土层，SM和PM处理土壤贮水量基本无显著差异。



图柱上标不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著（$P<0.05$）。下图同。

Different lowercase letters on the columns indicate significant differences among treatments at the same soil depth（$P<0.05$）. The same below.

图2　2022－2023年马铃薯全生育期不同土层土壤贮水量

Fig. 2　Soil water storage across soil depths during the entire growth period of potatoes of 2022－2023

2.2　覆盖方式对马铃薯田0～25 cm土层土壤温度的影响

覆盖方式对马铃薯田0～25 cm土层土壤温度的影响如表2和图3所示。由表2可知，随着马铃薯生育进程的推进，0～25 cm土层平均土壤温度呈先升后降的趋势。与CK相比，SM处理马铃薯在幼苗期、现蕾期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期和收获期，平均土壤温度分别显著降低了1.9～3.4，2.0～2.1，1.6～1.7，1.7～2.6，1.4～1.7和0.8～1.8 ℃；PM处理马铃薯在幼苗期、现蕾期、块茎形成期、淀粉积累期和收获期，平均土壤温度分别显著升高了2.4～2.5，0.6～1.7，1.4～2.5，1.5～1.8和0.9～2.0 ℃。与CK相比，SM处理马铃薯全生育期0～25 cm土层土壤平均温度显著降低1.6～2.0 ℃，而PM处理马铃薯全生育期0～25 cm土层土壤平均温度却显著升高0.9～2.0 ℃。

表2　2022－2023年马铃薯各生育时期0～25 cm土层土壤平均温度

Table 2　Average soil temperature at 0－25 cm depth during different growth stages of potatoes of 2022－2023

年份 Year	处理 Treatment	土壤平均温度/℃ Average soil temperature					
		幼苗期 Seedling stage	现蕾期 Bud stage	块茎形成期 Tuber initiation stage	块茎增长期 Tuber expansion stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	收获期 Maturity stage
2022	SM	19.4±0.1 c	23.2±0.5 c	24.8±0.3 b	23.5±0.5 b	16.1±0.4 c	12.9±0.1 c
	PM	25.4±0.2 a	26.6±0.4 a	27.0±0.6 a	24.5±1.5 ab	19.1±0.1 a	14.7±0.2 a
	CK	22.9±0.3 b	25.2±0.2 b	26.4±0.4 a	26.1±0.8 a	17.5±0.8 b	13.7±0.2 b
2023	SM	18.8±0.1 c	19.9±0.2 c	21.3±0.3 c	25.5±0.2 c	22.7±0.4 c	15.5±0.1 c
	PM	23.2±0.1 a	24.5±0.9 a	24.6±0.3 a	28.8±0.7 a	26.2±0.5 a	18.3±0.4 a
	CK	20.7±0.3 b	22.0±0.3 b	22.9±0.3 b	27.2±0.2 b	24.4±0.5 b	16.3±0.5 b

由图3可知，随着土层加深，各处理0～25 cm土层土壤温度呈降低趋势。与CK相比，SM处理0～5，5～10，10～15，15～20，20～25 cm土层土壤温度分别显著降低1.8～2.0，1.0～2.1，1.3～1.8，1.2～2.1和1.8～1.9 ℃，以5～10 cm土层降幅最大；PM处理0～5，5～10，10～15，15～20，20～25 cm土层土壤温度分别显著升高0.9～1.3，0.9～1.7，1.1～2.0，0.8～1.6，0.9～1.8 ℃，以10～15 cm土层增幅最大。

中国知网　https://www.cnki.net

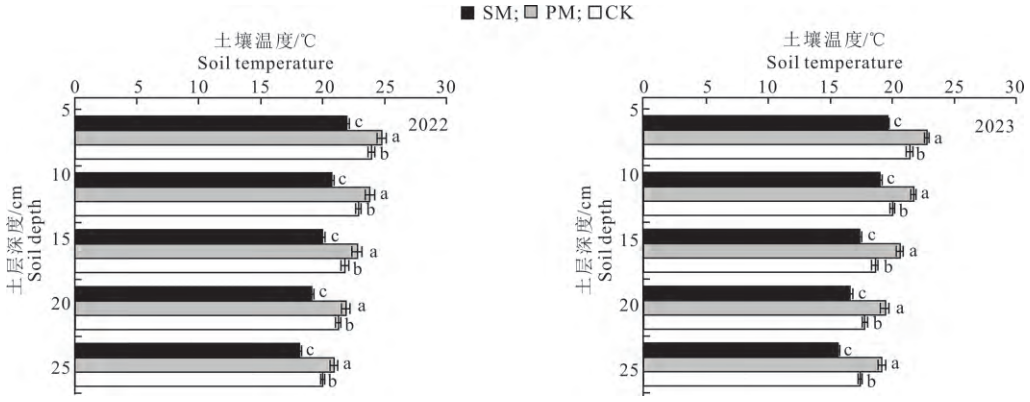


图3 2022—2023年马铃薯全生育期不同土层土壤温度

Fig. 3 Soil temperatures across soil depths during the entire growth period of potatoes of 2022—2023

2.3 覆盖方式对马铃薯光合生理指标的影响

2.3.1 光合参数

2022—2023年不同覆盖措施下马铃薯的光合特性见表3。

表3 2022—2023年不同覆盖措施下马铃薯的光合特性

Table 3 Photosynthetic characteristics of potatoes under different mulching treatments of 2022—2023

年份 Year	生育期 Growth stage	处理 Treatment	净光合速率/(μmol·m^{-2}·s^{-1}) Net photosynthetics rate	蒸腾速率/(mmol·m^{-2}·s^{-1}) Transpiration rate	气孔导度/(mol·m^{-2}·s^{-1}) Stomatal conductance	胞间CO_2浓度/(μmol·mol^{-1}) Intercellular CO_2 concentration	叶片水分利用效率/(μmol·mmol^{-1}) Water use efficiency	叶绿素相对含量 Chlorophyll content
2022	块茎形成期 Tuber initiation stage	SM	14.59±1.00 a	3.65±0.07 a	0.25±0.01 a	223.83±9.58 b	3.99±0.20 a	57.70±1.30 a
		PM	15.29±0.95 a	3.84±0.19 a	0.30±0.04 a	235.55±4.71 ab	3.98±0.11 a	55.73±1.16 a
		CK	12.54±1.00 b	3.21±0.09 b	0.19±0.02 b	246.47±6.16 a	3.91±0.21 a	52.03±2.55 b
	块茎增长期 Tuber expansion stage	SM	11.08±0.46 a	3.43±0.22 a	0.17±0.01 a	222.63±9.38 a	3.23±0.13 a	49.40±2.90 a
		PM	9.35±0.41 b	3.51±0.29 a	0.14±0.01 a	230.45±5.48 a	2.66±0.11 b	42.87±1.35 b
		CK	7.30±0.56 c	3.14±0.08 b	0.10±0.01 b	236.80±11.22 a	2.32±0.12 c	42.57±1.40 b
	淀粉积累期 Starch accumulation stage	SM	9.18±1.05 a	2.36±0.17 b	0.15±0.02 a	217.44±3.08 a	3.89±0.21 a	46.17±1.05 a
		PM	6.04±0.30 b	2.66±0.12 b	0.12±0.03 ab	227.16±10.78 a	2.27±0.07 b	39.00±1.40 c
		CK	6.09±0.51 b	3.08±0.29 a	0.09±0.01 b	227.04±6.22 a	1.98±0.03 c	41.60±0.20 b
2023	块茎形成期 Tuber initiation stage	SM	13.14±0.55 a	4.13±0.26 a	0.21±0.01 b	228.24±13.24 b	3.19±0.28 a	53.13±1.68 a
		PM	15.14±0.96 a	4.30±0.20 a	0.25±0.01 a	235.32±2.68 b	3.53±0.38 a	52.30±1.99 a
		CK	10.95±1.41 b	3.21±0.23 b	0.16±0.01 c	257.14±10.15 a	3.41±0.28 a	45.10±3.73 b
	块茎增长期 Tuber expansion stage	SM	9.67±0.59 a	3.53±0.13 a	0.18±0.01 a	222.29±10.16 b	2.74±0.13 a	60.73±2.35 a
		PM	8.23±0.24 b	3.20±0.11 b	0.17±0.02 a	226.43±7.49 b	2.58±0.15 a	53.37±1.39 b
		CK	6.59±0.30 c	2.93±0.07 c	0.13±0.01 b	246.21±8.44 a	2.25±0.13 b	50.37±1.11 b
	淀粉积累期 Starch accumulation stage	SM	6.27±0.21 a	3.08±0.13 a	0.11±0.01 a	217.29±9.46 a	2.04±0.11 a	45.37±0.93 a
		PM	5.04±0.28 b	2.49±0.09 c	0.10±0.01 ab	221.68±7.79 a	2.02±0.17 a	35.97±0.49 c
		CK	5.30±0.40 b	2.69±0.07 b	0.08±0.01 b	230.42±9.13 a	1.97±0.16 a	39.10±0.95 b

注:同列数据后标不同小写字母表示在相同年份同一时期不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences among treatments in the same year and growth stage ($P<0.05$).

由表3可知,覆盖对马铃薯净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间CO_2浓度(C_i)及气孔导度(G_s)均有显著影响。与CK相比,SM处理在马铃薯块茎形成期、块茎增长期和淀粉积累期,P_n分别显著提高了16.3%~20.0%,46.7%~51.9%和18.2%~50.7%;而PM处理在马铃薯块茎形成期和块茎增长期,P_n显著提高了22.0%~38.2%和24.8%~28.1%。与CK相比,在马铃薯块茎形成期和块茎增长期,SM处理T_r

中国知网 https://www.cnki.net

分别显著提高了 13.8%～28.6% 和 19.8%～20.3%，PM 处理 T_r 分别显著提高了 19.8%～33.9% 和 9.1%～11.7%。但在淀粉积累期，PM 处理 T_r 显著降低了 7.4%～13.7%。

由表 3 还可知，与 CK 相比，SM 处理在马铃薯块茎形成期、块茎增长期和淀粉积累期，G_s 分别显著增加了 31.0%～31.1%，42.7%～66.4% 和 9.7%～63.0%；PM 处理在马铃薯块茎形成期和块茎增长期，G_s 分别显著增加了 38.2%～55.8% 和 36.8%～41.4%。与 CK 相比，覆盖处理（PM 和 SM）显著降低了马铃薯的胞间 CO_2 浓度（C_i），其中在马铃薯块茎形成期和块茎增长期，SM 处理 C_i 分别降低 9.2%～11.2% 和 6.0%～9.7%，PM 处理分别降低 4.4%～8.5% 和 2.7%～8.0%。在块茎增长期和淀粉积累期，与 PM 处理相比，SM 处理马铃薯 P_n 分别显著提高了 17.5%～18.6% 和 24.5%～52.0%，G_s 分别显著提高了 4.3%～17.7% 和 12.0%～25.7%，二者 T_r 和 C_i 无显著差异。

2.3.2　*叶片水分利用效率*　由表 3 可知，覆盖种植马铃薯叶片水分利用效率（WUE）均高于露地平作马铃薯，且覆盖对马铃薯叶片水分利用效率的影响因年份而异。2022 年，与 CK 相比，在块茎形成期，SM 和 PM 处理马铃薯 WUE 无显著变化；在块茎增长期和淀粉积累期，SM 处理马铃薯 WUE 显著提高了 39.7% 和 96.3%，PM 处理马铃薯 WUE 显著提高了 15.1% 和 14.8%。2023 年，与 CK 相比，在块茎增长期，SM 和 PM 处理马铃薯 WUE 分别显著提高了 21.8% 和 14.5%；在块茎形成期和淀粉积累期，SM 和 PM 处理马铃薯 WUE 均无显著差异。在块茎增长期，SM 处理马铃薯 WUE 较 PM 处理显著提高了 6.4%～21.3%。

2.3.3　*叶绿素相对含量*　由表 3 还可知，覆盖方式对马铃薯叶片叶绿素相对含量（SPAD 值）有显著影响，且其效应随生育时期呈现动态变化。与 CK 相比，SM 处理在块茎形成期、块茎增长期和淀粉积累期的 SPAD 值分别显著提升了 10.9%～17.8%，16.0%～20.6% 和 11.0%～16.0%；PM 处理在块茎形成期 SPAD 值显著增加了 7.0%～16.0%，但在淀粉积累期却显著降低了 6.2%～8.0%。与 PM 处理相比，SM 处理在块茎增长期和淀粉积累期 SPAD 值分别显著提高了 13.8%～15.1% 和 18.2%～26.1%。

2.4　覆盖方式对马铃薯产量的影响

由表 4 可知，覆盖处理可显著提高马铃薯鲜薯产量和干薯产量，且覆盖的增产效果因年份而异，在生育中后期相对干旱的年份增产效果更好。2022 年，与 CK 相比，SM 和 PM 处理鲜薯产量分别显著增加了 14.5% 和 23.6%，干薯产量分别显著增加了 22.5% 和 21.5%。2023 年，SM 和 PM 处理鲜薯产量分别显著增加了 28.6% 和 22.9%，干薯产量分别显著增加了 46.3% 和 29.3%。2022－2023 年，SM 处理鲜薯产量和干薯产量均与 PM 处理差异不显著。

表 4　2022－2023 年不同覆盖措施对马铃薯产量的影响

Table 4　Effects of different mulching treatments on potato yields of 2022－2023

年份 Year	处理 Treatment	单株薯数 Number of potatoes per plant	单薯质量/g Single potato weight	鲜薯产量/(kg·hm^{-2}) Fresh tuber yield	干薯产量/(kg·hm^{-2}) Dry tuber yield	商品薯率/% Commercial potato rate
2022	SM	6.3±0.3 a	88.1±2.4 b	28 734.7±613.0 a	7 356.7±408.6 a	77.8±4.4 a
	PM	5.5±0.5 b	100.1±4.2 a	31 016.2±1 169.2 a	7 295.3±495.7 a	74.3±4.5 a
	CK	6.4±0.1 a	75.9±1.6 c	25 089.5±1 014.2 b	6 006.4±88.9 b	68.3±1.2 b
2023	SM	5.3±0.4 a	64.2±0.9 a	17 271.1±398.2 a	4 386.5±216.3 a	59.9±1.1 a
	PM	5.4±0.4 a	58.9±1.2 a	16 499.0±537.4 a	3 877.8±95.3 a	57.5±0.8 a
	CK	5.0±0.1 b	50.4±2.3 b	13 427.7±1 189.4 b	2 999.4±392.9 b	51.3±0.9 b

由表 4 还可知，与 CK 相比，2022 年 SM 和 PM 处理单薯质量分别显著增加了 16.0% 和 31.8%，2023 年 SM 和 PM 处理单薯质量分别显著增加了 27.6% 和 16.9%。单薯质量的提升有效改善了马铃薯的商品薯率，与 CK 相比，2022 年 SM 和 PM 处理的商品薯率分别显著提高了 9.5 和 6.0 个百分点，2023 年 SM 和 PM 处理的商品薯率分别显著提高了 8.6 和 6.2 个百分点，但 2022－2023 年，SM 处理的商品薯率均与 PM 处理无显著差异。

2.5　土壤水热和叶片光合特性与马铃薯产量的相关性分析

对马铃薯土壤水热、光合指标和产量进行皮尔逊（Pearson）相关分析，结果（表 5）表明，马铃薯干薯产量与单薯质量、土壤贮水量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶片水分利用效率呈极显著正相关，与胞间 CO_2 浓度呈极显著负相关，与叶绿素相对含量呈显著正相关；土壤贮水量与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、单薯质量呈极显著正相关，与胞间 CO_2

中国知网　https://www.cnki.net

浓度呈显著负相关,与叶片水分利用效率呈显著正相关。可见,在马铃薯生育期,土壤贮水量制约了净光合速率、蒸腾速率、气孔导度等光合因子,从而限制单薯质量的增加,进而影响马铃薯产量。

表5 马铃薯产量与土壤水热及光合特性的相关性

Table 5 Correlation analysis between potato yields and soil hydrothermal and photosynthetic characteristics

指标 Index	SWS	ST	P_n	T_r	G_s	C_i	WUE	SPAD	NP	SPW
ST	0.041									
P_n	0.894**	−0.363								
T_r	0.866**	−0.141	0.806**							
G_s	0.941**	−0.006	0.879**	0.885**						
C_i	−0.782*	0.422	−0.880**	−0.826**	−0.783*					
WUE	0.674*	−0.632	0.899**	0.607	0.672*	−0.736*				
SPAD	0.560	−0.777*	0.835**	0.579	0.530	−0.751*	0.949**			
NP	−0.264	−0.579	−0.077	0.137	−0.212	−0.142	0.095	0.227		
SPW	0.954**	0.130	0.846**	0.800**	0.929**	−0.654	0.628	0.498	−0.429	
DY	0.917**	−0.252	0.957**	0.850**	0.852**	−0.867**	0.804**	0.782*	−0.124	0.886**

注:SWS. 土壤贮水量;ST. 土壤温度;P_n. 净光合速率;T_r. 蒸腾速率;G_s. 气孔导度;C_i. 胞间CO_2浓度;WUE. 叶片水分利用效率;SPAD. 叶绿素相对含量;NP. 单株薯数;SPW. 单薯质量;DY. 干薯产量。*和**分别代表相关性显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。

Note: SWS. Soil water storage; ST. Soil temperature; P_n. Net photosynthetic rate; T_r. Transpiration rate; G_s. Stomatal conductance; C_i. Intercellular CO_2 concentration; WUE. Leaf water use efficiency; SPAD. Relative chlorophyll content; NP. Number of potatoes per plant; SPW. Single potato weight; DY. Dry tuber yield. * and ** represent significant ($P<0.05$) and extremely significant ($P<0.01$) correlations, respectively.

3 讨 论

3.1 覆盖对马铃薯田土壤水热环境的影响

降水是旱作农业区土壤水分的主要来源,且土壤水分的空间变化以及表层土壤水分含量与降水量密切相关[18]。农田覆盖通过抑制土壤蒸发和提高雨水入渗显著增加了土壤含水量,缓解季节性降水不均对作物生长的负面影响[15]。普雪可等[19]研究发现,垄覆地膜沟覆秸秆处理有效提高了马铃薯生育期深层土壤水分的保蓄能力。YANG等[20]研究发现,秸秆覆盖能促进降雨蓄集,提高小麦全生育期浅层(0~40 cm)土壤含水量。本研究中,地膜覆盖和秸秆带状覆盖处理均提高了马铃薯各生育期的土壤贮水量,这与杨成存等[2]的研究结果相似。本研究中,在马铃薯播种至块茎形成期地膜覆盖的增墒效果强于块茎形成期至收获期,但秸秆带状覆盖则相反。造成这种变化的原因可能是两方面的,一方面,马铃薯生育前期冠层小,水分散失以土壤为主,地膜全封闭覆盖可有效阻止土壤蒸发和乱流,迫使膜下水分横向运移,水分蒸发速率低于秸秆覆盖[21];另一方面,覆膜后降雨补给的水分难以渗入膜下,造成水分直接从膜上蒸发,促使其调用深层土壤水分[22-23],而玉米秸秆带状覆盖物作为物理屏障,其蜡质表面和亲水纤维可吸湿保湿,且半封闭式的覆盖方式增加了土壤入渗和保水能力[24-26],因此在马铃薯生育中后期土壤水分明显高于地膜覆盖处理。

适宜土壤温度是作物生长的必要条件,对维持植物根系活力起着关键作用,在农田生态系统中对生产力有着显著影响[27]。覆盖材料对土壤温度的影响主要取决于土壤表面接收的辐射量及土壤与大气之间的水热交换状况,还取决于覆盖物在较大冠层下的遮阴程度[28]。众多研究表明,地膜覆盖呈现出显著的增温效应,而秸秆覆盖则表现为降温效应[29-30],这与本研究结果相似。可能原因在于地膜覆盖对近地面的热量传递产生阻滞效应,促使表层土壤对太阳辐射的吸收能力增强,导致热量在膜下汇聚,从而使得土壤温度升高[28];而秸秆覆盖因其疏松的遮蔽结构能够有效减弱太阳辐射,且秸秆具有较低的热传导性,可抑制土壤水分蒸发,进而导致土壤温度下降[31]。但在本研究中,地膜覆盖在马铃薯块茎膨大期表现为降温效应,可能是该时期马铃薯冠层面积较大导致冠层闭合,太阳辐射难以穿过作物冠层,群体透光度降低,导致地膜的增温效应减弱[29]。

3.2 覆盖对马铃薯光合特性的影响

光合特性与土壤水分和温度高度相关,对作物生长、生物量积累以及生产力提升起着关键作用[32]。冯雨露等[33]研究发现,秸秆覆盖能优化马铃薯的光合性能,提高叶面积指数和叶绿素含量。YE

中国知网 https://www.cnki.net

等[34]研究发现，起垄覆膜处理能保证小麦生长后期较高的叶面积指数，调节小麦生育期绿叶光合源动态。本研究中，覆盖处理显著提升了净光合速率、蒸腾速率和气孔导度，降低了胞间CO_2浓度，与纪晓玲等[35]的研究结果相似。一方面，覆盖栽培有效改善了土壤耕层水分状况，维持土壤含水量相对稳定，为光合作用提供了适宜的基质环境；另一方面，覆盖措施下马铃薯植株的通气环境较为适宜，有助于气孔张开，提高了二氧化碳利用率，同时增强了根系向叶片的水分运输速率，使马铃薯叶片及时参与光合碳同化[36]。此外，在淀粉积累期，地膜覆盖处理叶片的光合生产力与露地平作相比并无显著差异，这主要是地膜覆盖的增温效应促进了叶片衰老，减少了光能截获，且覆盖条件下的水热环境可能不会持续到淀粉积累期[8]。本研究还发现，秸秆带状覆盖显著增加了马铃薯块茎膨大至淀粉积累期的叶绿素相对含量，这有利于马铃薯维持较高叶绿素水平，使更多的太阳辐射被拦截，并通过改善根系活动提高干旱条件下的光合作用效率[37]。

3.3　覆盖对马铃薯产量的影响

作物产量的增加归因于土壤理化特性的优化和光合生理特性的改善[15]。赵富贵等[38]研究发现，马铃薯生育中后期的土壤水分及温度对其产量形成至关重要。吴春花等[39]研究发现，覆盖能改善土壤水热环境，提升光合作用能力，进而促进地上部生物量向地下部转移及积累，最终提高产量。本研究中，覆盖处理均使马铃薯鲜薯、干薯产量显著增加，且在生育中后期较为干旱的年份，秸秆带状覆盖增产幅度大于地膜覆盖，这与纪文宁等[25]的研究结果一致。一方面，覆盖从根本上改善了土壤水热环境，为马铃薯生长发育奠定了基础，且秸秆覆盖的降温效应能有效缓解马铃薯块茎膨大期高温胁迫对薯块发育产生的负面作用[40]；另一方面，覆盖栽培下土壤水分的充足供应和适宜的土壤温度促进光合产物合成与积累，促进了薯块膨大，最终实现马铃薯增产[41]。

4　结　论

秸秆带状覆盖能提高旱地马铃薯全生育期土壤贮水量，降低马铃薯全生育期土壤温度，显著提高马铃薯块茎形成期至淀粉积累期的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度以及马铃薯块茎增长期至淀粉积累期的叶绿素相对含量，有助于保持马铃薯生育后期较强的光合性能，进而提高马铃薯产量，可作为陇中半干旱区马铃薯增产增效种植极具推广价值的可行覆盖方式。

[参考文献]

[1] ZHAO D M, MA J H, CUI X Z, et al. Effects of partial straw mulching on potato production under different rainfall years in dry-farming region[J]. Water, 2023, 15(22): 3971.

[2] 杨成存，黄金文，韩凡香，等. 不同覆盖时期和方式对旱地马铃薯土壤水热及产量的影响 [J]. 西北农业学报，2023，32(2)：253-263.
YANG C C, HUANG J W, HAN F X, et al. Effects of different mulching periods and methods on soil moisture, temperature and yield of potato in dryland[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2023, 32(2): 253-263.

[3] RATHOD G R, PANDEY R, CHINNUSAMY V, et al. Deeper root system architecture confers better stability to photosynthesis and yield compared to shallow system under terminal drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Plant Physiology Reports, 2022, 27(2): 250-259.

[4] YIN W, CHAI Q, GUO Y, et al. The physiological and ecological traits of strip management with straw and plastic film to increase grain yield of intercropping wheat and maize in arid conditions[J]. Field Crops Research, 2021, 271: 108242.

[5] HASSAN I A. Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L.[J]. Photosynthetica, 2006, 44(2): 312-315.

[6] YIN W, FAN Z L, HU F L, et al. No-tillage with straw mulching boosts wheat grain yield by improving the eco-physiological characteristics in arid regions[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2023, 22(11): 3416-3429.

[7] HU Y J, MA P H, DUAN C X, et al. Black plastic film combined with straw mulching delays senescence and increases summer maize yield in northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2020, 231: 106031.

[8] QIN S S, ZHANG Y Q, WANG J D, et al. Transparent and black film mulching improve photosynthesis and yield of summer maize in North China Plain[J]. Agriculture, 2022, 12(5): 719-734.

[9] 王永亮，胥子航，李申，等. 不同覆盖措施对土壤水热状况及春玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 作物学报，2024，50(5)：1312-1324.
WANG Y L, XU Z H, LI S, et al. Effects of different mulching measures on moisture and temperature of soil and yield and water use efficiency of spring maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(5): 1312-1324.

[10] 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 Q, MA J T, HAN F X, 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

中国知网　https://www.cnki.net

(6):197-205.

[11] MA J T, CHANG L, LI Y W, et al. Straw strip mulch improves soil moisture similar to plastic film mulch but with a higher net income [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2024, 362: 108855.

[12] YANG Y H, DING J L, ZHANG Y H, et al. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature, photosynthetic characteristics and yield of winter wheat[J]. Agricultural Water Management, 2018, 201: 299-308.

[13] 王健波,严昌荣,刘恩科,等. 长期免耕覆盖对旱地冬小麦旗叶光合特性及干物质积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(2):296-305.
WANG J B, YAN C R, LIU E K, et al. Effects of long-term no-tillage with straw mulch on photosynthetic characteristics of flag leaves and dry matter accumulation and translocation of winter wheat in dryland[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(2): 296-305.

[14] 胡广荣,王琦,宋兴阳,等. 沟覆盖材料对垄沟集雨种植土壤温度、作物产量和水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(5):590-599.
HU G R, WANG Q, SONG X Y, et al. Effects of furrow-mulching materials on soil temperature, crop yield and water use efficiency in ridge-furrow rainwater harvesting systems [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(5): 590-599.

[15] TIAN L X, YU S P, ZHANG L, et al. Effects of mulching types on the yield and water utilization by broomcorn millet (*Panicum miliaceum*): results of a study in the Loess Plateau, China[J]. Journal of Environmental Management, 2023, 345: 118856.

[16] 陈影慧,刘升燕,程宏波,等. 不同覆盖模式对旱地小麦旗叶抗氧化系统生理调控的影响[J]. 分子植物育种,2019,17(2):683-692.
CHEN Y H, LIU S Y, CHENG H B, et al. Effect of different covering models on physiological regulation of flag leaf antioxidant system in dryland winter wheat [J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(2): 683-692.

[17] CHEN Y Z, CHAI S X, TIAN H H, et al. Straw strips mulch on furrows improves water use efficiency and yield of potato in a rainfed semiarid area[J]. Agricultural Water Management, 2019, 211: 142-151.

[18] ZHANG X C, GUO J, MA Y F, et al. Effects of vertical rotary subsoiling with plastic mulching on soil water availability and potato yield on a semiarid Loess Plateau, China[J]. Soil and Tillage Research, 2020, 199: 104591.

[19] 普雪可,吴春花,勉有明,等. 不同覆盖方式对旱作马铃薯生长及土壤水热特征的影响[J]. 中国农业科学,2020,53(4):734-747.
PU X K, WU C H, MIAN Y M, et al. Effects of different mulching patterns on growth of potato and characteristics of soil water and temperature in dry farmland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(4): 734-747.

[20] YANG H K, WU G, MO P, et al. The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Soil and Tillage Research, 2020, 197: 104485.

[21] LI C, LUO X Q, LI Y, et al. Ridge planting with transparent plastic mulching improves maize productivity by regulating the distribution and utilization of soil water, heat, and canopy radiation in arid irrigation area [J]. Agricultural Water Management, 2023, 280: 108230.

[22] 胡可欣,米俊珍,刘景辉,等. 全生物降解渗水地膜覆盖对黄土高原旱作谷子土壤水热及产量的影响[J]. 中国农业大学学报,2024,29(3):36-49.
HU K X, MI J Z, LIU J H, et al. Effects of fully biodegradable water permeable mulch on soil hydrothermal and the yield of dry-crop foxtail millet on the Loess Plateau [J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(3): 36-49.

[23] 侯慧芝,王娟,张绪成,等. 半干旱区全膜覆盖垄上微沟种植对土壤水热及马铃薯产量的影响[J]. 作物学报,2015,41(10):1582-1590.
HOU H Z, WANG J, ZHANG X C, et al. Effects of mini-ditch planting with plastic mulching in ridges on soil water content, temperature and potato yield in rain-fed semiarid region [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(10): 1582-1590.

[24] 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 northwest semiarid region of China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(6): 148-156, 256.

[25] 纪文宁,程宏波,李亚伟,等. 覆盖方式对旱地马铃薯阶段耗水量特征和产量的影响[J]. 水土保持学报,2022,36(3):228-235.
JI W N, CHENG H B, LI Y W, et al. Effects of mulching methods on water consumption and yield of potato in dryland farming[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(3): 228-235.

[26] 刘晓峰,董海霞,徐文杰,等. 不同覆盖种植方式对马铃薯耗水特性及产量的影响[J]. 西南农业学报,2024,37(5):1001-1009.
LIU X F, DONG H X, XU W J, et al. Effects of different covering planting methods on water consumption characteristics and yield of potatoes[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2024, 37(5): 1001-1009.

[27] 殷文,陈桂平,柴强,等. 前茬小麦秸秆处理方式对河西走廊地膜覆盖玉米农田土壤水热特性的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(15):2898-2908.
YIN W, CHEN G P, CHAI Q, et al. Responses of soil water and temperature to previous wheat straw treatments in plastic film mulching maize field at Hexi Corridor[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(15): 2898-2908.

[28] CHAI Y W, CHAI Q, LI R, et al. Straw strip mulching in a semiarid rainfed agroecosystem achieves winter wheat yields

中国知网 https://www.cnki.net

similar to those of full plastic mulching by optimizing the soil hydrothermal regime[J]. The Crop Journal, 2022, 10(3): 879-892.

[29] 张建彤，马建涛，柴雨葳，等. 秸秆带状覆盖对旱地马铃薯土壤温度及产量的影响[J]. 生态学杂志，2024，43(2)：461-468.
ZHANG J T，MA J T，CHAI Y W，et al. Effects of straw strip mulching on soil temperature and yield of potato in dryland[J]. Chinese Journal of Ecology，2024，43(2)：461-468.

[30] 杨志楠，黄金文，韩凡香，等. 秸秆带状覆盖对西北雨养区马铃薯农田土壤温度及产量的影响[J]. 作物杂志，2022，38(1)：196-204.
YANG Z N，HUANG J W，HAN F X，et al. Effects of straw strip mulching on soil temperature and yield of potato field in rain-fed region in northwest China[J]. Crops，2022，38(1)：196-204.

[31] LI S Y，LI Y，LIN H X，et al. Effects of different mulching technologies on evapotranspiration and summer maize growth [J]. Agricultural Water Management，2018，201：309-318.

[32] REN B Z，DONG S T，LIU P，et al. Ridge tillage improves plant growth and grain yield of waterlogged summer maize[J]. Agricultural Water Management，2016，177：392-399.

[33] 冯雨露，张森昱，杨成存，等. 秸秆带状覆盖对半干旱雨养区马铃薯光合特性及产量的影响[J]. 核农学报，2023，37(7)：1442-1451.
FENG Y L，ZHANG S Y，YANG C C，et al. Effects of straw strip mulching on potato photosynthetic characteristics and yield in semi-arid rainfed areas[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2023，37(7)：1442-1451.

[34] YE S L，LI J，KONG H，et al. Effects of different mulch materials on the photosynthetic characteristics，yield，and soil water use efficiency of wheat in Loess tableland[J]. Scientific Reports，2023，13：18106.

[35] 纪晓玲，张雄，张静，等. 不同覆盖方式对马铃薯光合特性及产量的影响[J]. 西北农业学报，2018，27(6)：819-825.
JI X L，ZHANG X，ZHANG J，et al. Effects of different mulching methods on photosynthetic characteristics and yield in potato[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica，2018，27(6)：819-825.

[36] 鲁悦，鲍雪莲，霍海南，等. 免耕条件下不同量秸秆覆盖还田提高东北黑土区玉米光合性能和产量的效应[J]. 植物营养与肥料学报，2023，29(5)：840-847.
LU Y，BAO X L，HUO H N，et al. Effects of different amounts of stover mulching on improving photosynthetic characteristics and yield of maize in Mollisol of Northeast China under long-term no-tillage[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers，2023，29(5)：840-847.

[37] ZHANG X D，KAMRAN M，XUE X K，et al. Ridge-furrow mulching system drives the efficient utilization of key production resources and the improvement of maize productivity in the Loess Plateau of China[J]. Soil and Tillage Research，2019，190：10-21.

[38] 赵富贵，张龙，李丹，等. 不同气候年型下耕作覆盖对宁南旱区土壤水热及马铃薯产量的影响[J]. 作物学报，2023，49(10)：2806-2819.
ZHAO F G，ZHANG L，LI D，et al. Effects of tillage with mulching on soil water and temperature and potato yield on the dry farmland of Southern Ningxia under different climate year types[J]. Acta Agronomica Sinica，2023，49(10)：2806-2819.

[39] 吴春花，普雪可，周永瑾，等. 宁南旱区沟垄集雨结合覆盖对土壤水热肥与马铃薯产量的影响[J]. 作物学报，2021，47(11)：2208-2219.
WU C H，PU X K，ZHOU Y J，et al. Effects of ridge-and-furrow rainwater harvesting with mulching on soil water-heat-fertility and potato yield in arid areas of southern Ningxia[J]. Acta Agronomica Sinica，2021，47(11)：2208-2219.

[40] 马晓明，李丹，雷佳，等. 不同降水年型下耕作方式结合覆盖对旱地土壤物理性质和马铃薯产量的影响[J]. 应用生态学报，2024，35(2)：447-456.
MA X M，LI D，LEI J，et al. Influence of tillage methods combined with mulching on soil physical properties and potato yield in dry farming area under different precipitation years[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2024，35(2)：447-456.

[41] 石艳艳，马志花，吴春花，等. 垄作沟覆地膜对旱地马铃薯光合特性及产量形成的影响[J]. 作物学报，2022，48(5)：1288-1297.
SHI Y Y，MA Z H，WU C H，et al. Effects of ridge tillage with film mulching in furrow on photosynthetic characteristics of potato and yield formation in dryland farming[J]. Acta Agronomica Sinica，2022，48(5)：1288-1297.

（责任编辑：陈丽）

中国知网　https://www.cnki.net