

不同种植方式对土壤水热及马铃薯产量的影响

王平¹, 陈娟², 王镭¹, 刘善霞¹, 胡建萍¹

(1. 兰州市农业科技研究推广中心 兰州 730010; 2. 甘肃省农业科学院蔬菜研究所 兰州 730070)

摘要:以马铃薯品种冀张薯 12 号为供试材料, 采用随机区组设计, 研究了滴灌(W)与无灌溉(D)条件下 3 种覆盖方式[黑色地膜垄作覆盖(F)、喷液态膜垄作(Y)、露地垄作(L)]对土壤水热、马铃薯生长及产量的影响, 分析滴灌条件下马铃薯的增产潜力, 确定马铃薯的最佳种植方式。结果表明, 不同种植方式下, 滴灌与覆膜均能使马铃薯物候期提前, 滴灌与不灌水相比, 成熟期提前 6~9 d。与传统露地种植相比, 覆黑色地膜和液态膜可分别使马铃薯提早出苗 15 d 和 2 d, 成熟期提前 2~7 d。与露地栽培相比, 覆膜具有显著的增温保湿效果, 且黑色地膜效果最优。马铃薯株高、茎粗、叶面积指数、SPAD 值、单株结薯数、产量之间均呈极显著正相关, 种植方式对马铃薯的生长影响显著, 与 D 处理相比, W 处理的平均马铃薯大薯数、产量与商品薯率分别显著提高 109.74%、138.47%、145.95%, 与 L 处理相比, F 与 Y 处理分别增产 42.65%~67.28%、11.34%~14.83%。综上, 滴灌处理下覆黑色地膜与液态膜具有增温与抗旱保墒的作用, 能够促进马铃薯出苗与成熟, 其中覆黑色地膜滴灌(WF)处理在促进马铃薯植株生长和提高产量方面效果最优, 是适合在旱作区推广应用的马铃薯种植模式。

关键词: 马铃薯; 旱作区; 液态膜; 膜下滴灌; 土壤水热; 产量

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)10-148-08

Effects of different cultivation methods on soil moisture, temperature and potato yield

WANG Ping¹, CHEN Juan², WANG Lei¹, LIU Shanxia¹, HU Jianping¹

(1. Lanzhou Agriculture Science and Technology Research and Extension Center, Lanzhou 730010, Gansu, China; 2. Institute of Vegetable, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Using the potato variety Jizhangshu 12 as the test material, a randomized block design was adopted to investigate the effects of three mulching methods [ridging with black plastic film (F), ridging with liquid film (Y), and ridging without mulch (L)] under drip irrigation (W) and non-irrigated (D) conditions on soil moisture, temperature, potato growth, and yield. The yield increasing potential of potato under drip irrigation conditions was analyzed, and the optimal planting method for potato was determined. The results showed that under different planting methods, both drip irrigation and mulching advanced the phenological stages of potato. Compared with to non-irrigated conditions, drip irrigation advanced the maturity period by 6-9 days. Compared with traditional open field cultivation, black plastic film and liquid film mulching promoted seedling emergence by 15 days and 2 days, respectively, and advanced maturity by 2-7 days. Compared with open field cultivation, mulching had significant warming and moisture-retaining effects, and black plastic film had the best effect. Plant height, stem diameter, leaf area index, SPAD, tuber number per plant, and yield of potato were all significantly positively correlated. The planting method significantly influenced potato growth. Compared with the D treatment, the W treatment significantly increased the average number of large tubers, yield, and marketable tuber rate by 109.74%, 138.47%, and 145.95%, respectively. Compared with the L treatment, the F and Y treatments increased yield by 42.65%-67.28% and 11.34%-14.83%, respectively. In conclusion, under drip irrigation, both black plastic film and liquid film mulching had warming, drought resistance, and moisture conservation, which could promote potato seedling emergence and maturation. Among them, the combination of drip irrigation with black plastic film mulching (WF) showed the best performance in promoting plant growth and yield, making it a suitable cultivation model for promotion in dry farming areas.

Key words: Potato; Dry farming areas; Liquid film; Submembrane dropper; Soil moisture and temperature; Yield

收稿日期: 2024-09-25; 修回日期: 2025-05-13

基金项目: 兰州市科技计划项目(2024-3-101)

作者简介: 王平, 男, 高级农艺师, 研究方向为旱作农业。E-mail: wangping0931@163.com

通信作者: 陈娟, 女, 研究员, 主要从事土壤肥料研究。E-mail: 827391183@qq.com

甘肃属大陆性干旱气候,水资源短缺,农业用水供需矛盾突出^[1],抗旱节水是当地科技人员一直研究的主题。实践表明,覆膜种植的抗旱保墒效果非常明显,不仅能有效保持土壤水分、节约灌溉用水,还能改善土壤环境、抑制杂草生长及病虫害繁殖,进而显著提高作物产量。滴灌与大水漫灌相比,能有效提高水资源利用率^[2]。在旱作区,水资源珍贵,膜下滴灌技术结合了覆膜与滴灌的优点,能够有效地提高水的利用效率,使水分能被作物充分利用,达到节水抗旱增产的目标^[3-4]。

马铃薯是甘肃省种植的主要优势作物,2024年甘肃省人民政府网发展统计报告显示,全省马铃薯种植面积达 57.8 万 hm^2 ,兰州市农业农村局农情信息公布兰州市种植面积达到 1.9 万 hm^2 。随着马铃薯产业发展逐渐壮大,现有栽培模式已不能适应其快速发展的需求,传统大水漫灌不仅水分利用效率低,而且产量低且不稳。研究发现,种植方式对马铃薯的生长发育有明显影响,有效的种植管理方式能够降低生育期干旱的影响,合理的种植管理方式可以改善作物耕层土壤水分、温度、微环境,增强农田保墒性能,提升作物产量^[5]。地膜与液态膜覆盖均具有抑制水汽蒸发、提高土壤温度、增产增收与环保的作用,作为新材料,液态膜覆盖栽培在西北寒旱区农业生产中鲜见应用与报道^[6],马铃薯滴灌应用未能大面积普及,对应用滴灌带来的好处认识不清^[7],特别在具备大水漫灌的区域,滴灌种植积极性不高,旱作区裸地栽培或覆黑色地膜灌溉的模式仍然是农民广泛采用的种植方式。鉴于此,笔者选取陇中地区主推品种冀张薯 12 号作为试验材料,

在滴灌与无灌溉两种条件下,对比分析黑色地膜覆盖、液态膜覆盖以及无覆盖 3 种栽培模式对土壤水热特性、马铃薯生长状况及产量的影响,以期旱作区马铃薯的抗旱栽培提供坚实的科学理论支撑与实用的技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于永登县武胜驿镇大利村,海拔 1600 m,年均气温 7.9 $^{\circ}\text{C}$,年均降水量 306.7 mm,蒸发量 2800 mm,无霜期 150 d。试验地平整规范,灌排条件好,前茬作物为玉米。试验土壤为灌漠土,马铃薯生育期降水量为 164.2 mm,2023 年试验区气温及降水量见图 1。

1.2 试验设计

试验于 2023 年 4—10 月进行,采用随机区组设计,为覆盖与灌水 2 个因素,覆盖方式分别为黑色半膜垄作覆盖(F)、喷液态膜垄作(Y)、露地垄作(L)3 种,灌溉方式为滴灌(W)和无灌溉(D)2 种。每个处理 3 次重复,共 18 个小区,每个小区面积 44 m^2 (5.5 m $\times$ 8 m)。所有处理均采用起垄侧种植的方式,垄宽 70 cm,垄沟 40 cm,单垄垄面种两行。黑色地膜(规格:厚 0.01 mm、宽 90 cm)采用半膜垄面覆盖;液态地膜选用大连益丰生物科技有限公司生产的壳能地膜,使用前整理好垄面使其没有大颗粒与疏松状,起好垄之后先在垄面回喷 2 次水再喷 2 次液态膜,液态膜使用剂量为 75 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,加水稀释 50 倍混匀均匀喷施于垄面。灌水处理(W)总灌水为 3 次,分别在苗期、开花期、膨大期分

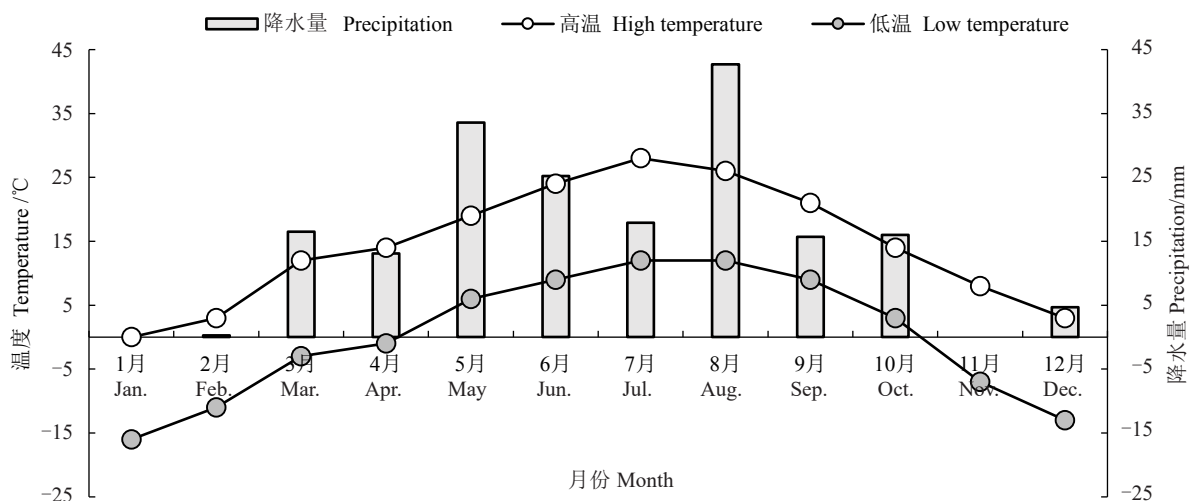


图 1 2023 年永登县武胜驿镇气温与降水量

Fig. 1 Temperature and precipitation in Wushengyi town, Yongdeng county, in 2023

别灌水 1 次,总灌水量 1250 m³·hm⁻²。马铃薯种植密度为 45 600 株·hm⁻²。供试材料为一级种薯冀张薯 12 号,由兰州邦夫达农业科技有限公司提供。

1.3 测定项目与方法

在马铃薯整个生育期进行观察,记录播种期、出苗期、开花期、成熟期和收获期,从出苗期到成熟期的时间记为生育期。

开花期,各处理选择 10 株采用卷尺测定马铃薯株高,采用游标卡尺测定茎粗、叶长和叶宽,计算叶面积指数(LAI)^[8]。LAI=叶片总面积/土地面积。采用 SPAD-502 Plus 叶绿素仪在开花期对马铃薯植株倒 3、倒 4 的功能叶片测定 SPAD 值,测量 3 次并取平均值^[9]。

采用纽扣式测定仪测定土壤温度^[10],在 5 月中旬埋入垄面土壤深 5 cm 处,收获时取出并导出数据,每 4 h 测定一次温度,日均土壤温度取平均值。在 9 月中旬,用土钻采集 100 cm 土层的土样(20 cm 土层取一个样),于 105 ℃烘至恒质量,计算土壤含水量^[11]。含水量/%=(湿土质量-干土质量)/干土质量×100。

收获时对马铃薯产量进行测定,小区产量实打实收,每小区去除两侧边际行,从中间 3 行中,每行随机选取 15 株测定单株结薯数、单株产量和商品薯(质量>75 g)产量,并计算单薯质量、商品薯率和总产量^[12]。商品薯率/%=商品薯产量/总产量×100。

1.4 统计分析

采用 EXCEL2013 软件进行数据处理,采用 DPSV9.01 软件对数据进行差异显著性分析,采用 Origin2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式对马铃薯生育期的影响

灌水与覆盖方式均能显著影响马铃薯生育期(表 1)。马铃薯统一于 2023 年 4 月 25 日播种,出苗时间以覆黑色地膜处理(WF、DF)最早,液态膜(WY、DY)次之,露地种植(WL、DL)最晚;出苗至开花这一时期持续时间为 39~49 d。灌水处理较无灌水处理更早进入开花期。其中,WF 处理最早开花,表明覆黑色地膜与灌水复合处理对促进马铃薯生长发育效果较好。开花至成熟这一时期持续时

表 1 不同处理马铃薯发育期
Table 1 Development stages of potato under different planting methods

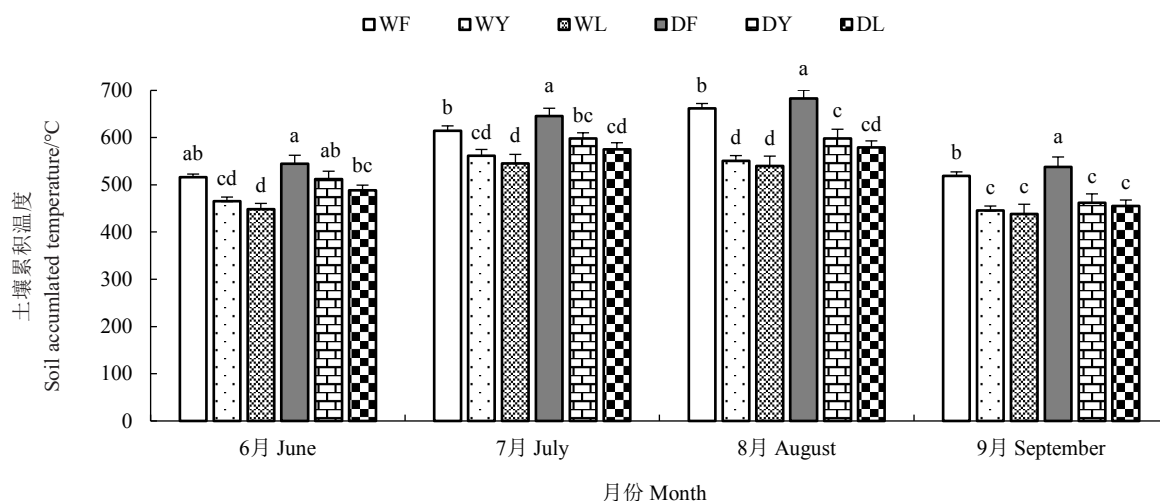
处理 Treatment	物候期(月-日) Phenological period/(Month-day)					生育期 Growth stage/d
	播种期 Sowing stage	出苗期 Seedling stage	开花期 Flowering stage	成熟期 Maturation stage	收获期 Harvesting stage	
WF	04-25	05-26	07-11	09-14	10-05	111 b
WY	04-25	06-08	07-17	09-18	10-05	102 c
WL	04-25	06-10	07-19	09-20	10-05	102 c
DF	04-25	05-26	07-14	09-20	10-05	117 a
DY	04-25	06-08	07-19	09-27	10-05	111 b
DL	04-25	06-10	07-22	09-27	10-05	109 b

注:同列数据后不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level. The same below.

间为 63~70 d,与无灌水相比,灌水处理成熟较早,WF 处理(覆黑色地膜+灌水)的马铃薯成熟最早。不同种植方式下马铃薯的生育期在 102~117 d。DF 处理(覆黑色地膜+无灌水)的生育期最长,WF 处理(覆黑色地膜+灌水)的生育期较短,显示了这种种植方式在促进马铃薯快速生长和成熟方面的优势。以上结果表明,覆黑色地膜和适当的灌水均能有效促进马铃薯的生长和发育,缩短生育期。其中 WF 处理对促进马铃薯生长效果显著,而 DF 处理虽然能促进早期生长,但由于土壤缺乏生长所需水分,其整体生育期较长。

2.2 不同种植方式对 0~5 cm 土壤温度的影响

由图 2 可知,各处理 0~5 cm 土层 6—9 月每个月的每日平均土壤温度累积值均呈先升高后降低的趋势,以 8 月份的土壤累积温度最高,不同种植方式下的土壤累积温度存在显著差异,积温整体表现为无灌溉(D)>滴灌(W),覆盖方式表现为覆膜>液态膜>露地。在整个生育期,以覆黑色膜处理(DF)在 0~5 cm 土层的土壤累积温度最高,总积温达到 2 411.88 ℃,整个生育期日均温度达到了 20.72 ℃。而露地灌水种植处理(WL)的土壤积温最低,为 1 972.45 ℃,日均温度为 16.96 ℃。液态膜



注:不同小写字母表示同一时间的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments of the same time at 0.05 level. The same below.

图 2 不同种植方式下 0~5 cm 土层土壤累积温度变化

Fig. 2 Changes of soil accumulated temperature in the 0-5 cm soil layer under different planting methods

覆盖(WY、DY)与露地种植相比,也能提高土壤温度,但效果比黑色地膜覆盖要差。在灌水条件下,黑色地膜(F)和液态膜(Y)覆盖较露地栽培(L)土壤温度高。在无灌水条件下,黑色地膜和液态膜覆盖较露地栽培也能提高土壤温度,但增温幅度较小。不同月份覆盖方式的增温效果为:6—9月,灌水条件下黑色地膜较露地栽培累积增温 339.28 °C,日均增温 3.21 °C,增温效果显著,而液态地膜较露地栽培累积增温仅 50.87 °C,日均增温仅 0.80 °C;无灌水条件下覆黑色地膜与液态膜较露地栽培分别累积增温 313.88、72.46 °C,其中覆黑色地膜处理的月土壤累积温度显著高于露地栽培,而覆液态膜处理与露地栽培无显著差异。整个覆盖栽培下(F、Y、L)

的灌水处理较无灌水处理累积降低土壤温度幅度为 100.16~147.14 °C,平均降低温度 124.28 °C,日均温度平均降低 0.54 °C。随着生育期的推进,覆黑色地膜与覆液态膜增温效果逐渐降低。灌水处理对土壤温度也有一定的影响,与无灌水相比,降低了土壤温度。

2.3 不同种植方式对土壤含水量的影响

试验区 0~50 cm 土壤为灌淤土,50~100 cm 为砂土。2023 年试验区降水量较往年同期减少 50 % 以上,整体土壤含水量较低(图 3)。与无灌水相比,相同栽培方式下灌水后 0~100 cm 土层含水量均明显升高(W>D)。不同覆盖方式之间相比,在灌水条件下,0~100 cm 土层含水量大小表现为 F>

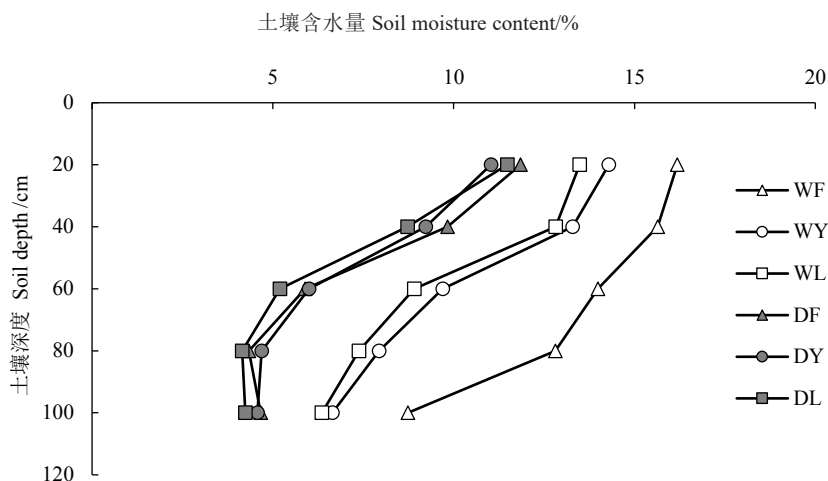


图 3 不同种植方式下 0~100 cm 土层含水量变化

Fig. 3 Changes of soil moisture content of 0-100 cm soil layer under different planting methods

Y>L,且各覆盖方式的含水量变化区间大于无灌水处理。各处理土层含水量随深度增加而递减。0~100 cm 土层相同覆盖方式下(F、Y、L)灌水较不灌水土层平均含水量分别增加 84.15%、45.98%、44.86%,在灌水条件下,F 与 Y 处理较 L 处理分别增加 37.60%、5.95%;在无灌水条件下,F 与 Y 处理较 L 处理分别增加 8.25%、5.14%。以上结果表明,黑色地膜(F)的保墒效果优于液态地膜(Y),而液态地膜(Y)的保墒能力强于露地(L)。

2.4 不同种植方式对马铃薯农艺性状与生理指标的影响

由图 4 可知,马铃薯株高、茎粗、叶面积指数、SPAD 在不同种植方式下呈显著差异,灌水与覆盖方式均能够增加各指标的数值,且灌水处理下的株高、茎粗、叶面积指数、SPAD 均高于无灌水处理。各种种植方式的株高介于 18.00~35.83 cm,不同覆盖方式灌水处理较无灌水处理株高显著增加 32.71%~75.00%,覆黑色地膜的株高在灌水条件下较液态膜与露地栽培分别显著增加 13.16%、13.76%;在无灌

水条件下分别显著增加 25.58%、50.00%;灌水条件下液态膜与露地对株高的影响没有显著差异,而在无灌水条件下二者差异显著。不同种植方式的茎粗介于 0.73~1.52 cm,液态膜与露地处理下茎粗的差异不显著;在灌水条件下,覆黑色地膜较液态膜和露地栽培分别显著增加 11.20%、14.28%;在无灌水条件下,覆黑色地膜较液态膜和露地栽培分别显著增加 32.79%、43.69%。不同处理的叶面积指数介于 0.47~1.59,在灌水条件下 F 处理与 Y 和 L 处理差异显著,在无灌水条件下叶面积指数表现为 F>Y>L,各处理呈显著差异;灌水较无灌水相比,不同覆盖方式增幅在 86%~144%,以无覆盖的增幅最大。不同处理的 SPAD 介于 56.23~103.62,覆黑色地膜的 SPAD 在灌水条件下较液态膜和露地栽培分别增加 4.49%、8.00%,在无灌水条件下,分别显著增加 40.99%、67.03%。以上结果表明,灌水和覆盖方式对马铃薯的生长指标产生不同程度的影响,其中在灌水条件下覆黑色地膜对马铃薯生长指标的影响程度最大。

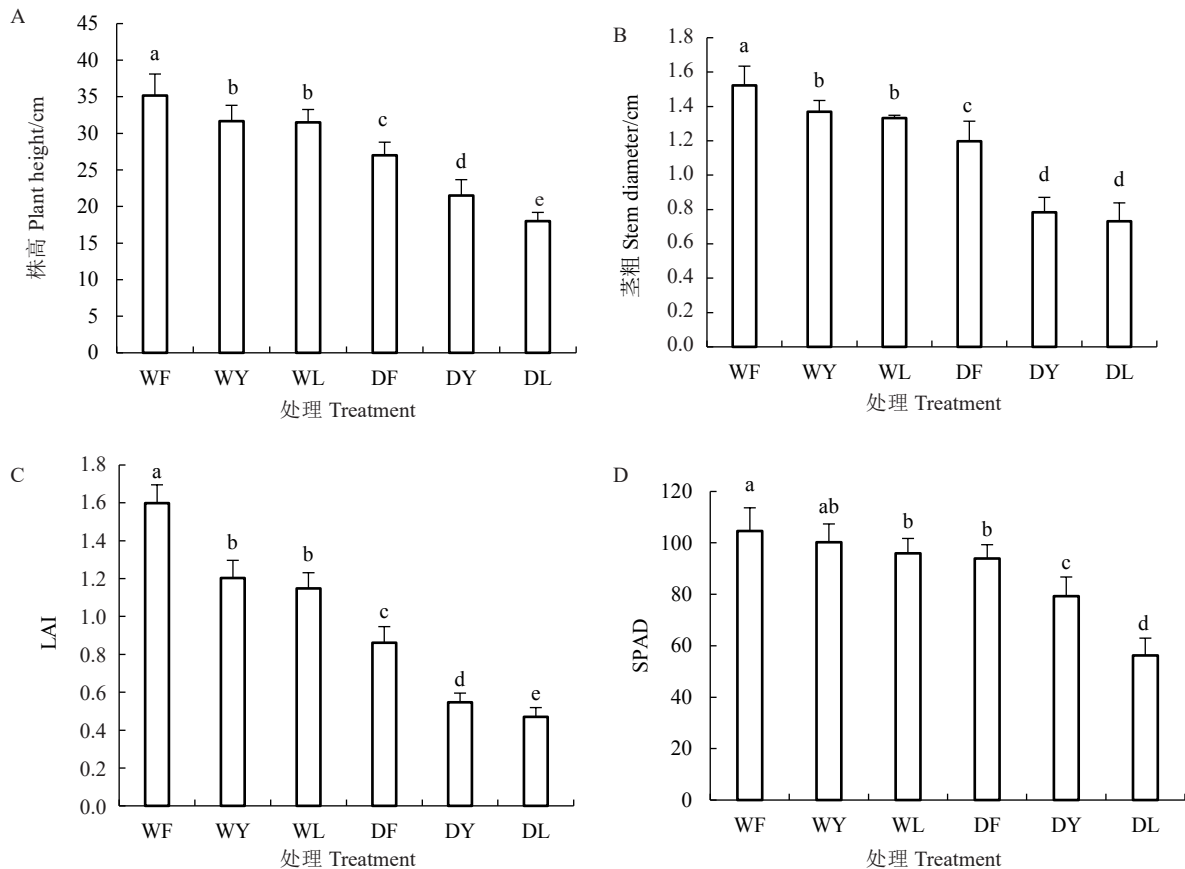


图 4 不同种植方式下马铃薯株高(A)、茎粗(B)、叶面积指数(C)、SPAD(D)的变化
Fig. 4 Changes of potato plant height(A), stem diameter(B), leaf area index(C), and SPAD(D) under different planting methods

2.5 不同种植方式对马铃薯产量的影响

由表 2 可知,不同处理下单株马铃薯大薯数介于 0.12~2.34 粒,小薯数介于 3.05~4.05 粒。在灌水条件下,大薯数均显著高于无灌水处理;在覆盖方式下大薯数表现为 F>Y>L,大薯数以 WF 处理最高,显著高于其他处理;小薯数以 WL 处理最高。单株马铃薯大薯产量的变化规律与单株大薯数相似,灌水条件下的产量最高,覆盖方式以覆黑色地膜对产量的影响最显著。不同种植方式的产量介于 12 256.00~43 000.96 kg·hm⁻²,灌水能够显著提高

马铃薯产量,相同覆盖方式下(F、Y、L)灌水较无灌水的产量分别显著提高 109.74%、138.47%、145.95%;在灌水条件下,F、Y 处理较 L 处理分别显著增产 42.65%、11.34%,在无灌水条件下,F、Y 处理较 L 处理分别增产 67.28%、14.83%。不同种植方式的马铃薯产量依次为 WF>WY>WL>DF>DY>DL。以上结果表明,灌水对产量的影响效果显著优于覆盖方式,灌水显著增高单株大薯数、单株产量和商品薯率,覆盖方式对马铃薯的单株大薯数、大薯产量、商品薯率的影响大小依次为 F>Y>L。

表 2 不同种植方式下的马铃薯产量
Table 2 Potato yield under different planting methods

处理 Treatment	单株结薯数 Potato number of single plant		单株产量 Yield per plant/kg		产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	商品薯率 Commodity potato rate/%	位次 Rank
	大薯数	小薯数	大薯产量	小薯产量			
	Number of large potato	Number of small potato	Large potato yield	Small potato yield			
WF	2.34 a	3.50 a	0.52 a	0.25 a	43 000.96 a	67.53 a	1
WY	1.70 b	3.70 a	0.35 b	0.22 a	33 561.11 b	58.49 a	2
WL	1.25 c	4.05 a	0.21 c	0.28 a	30 143.33 c	39.26 b	3
DF	0.70 d	3.86 a	0.16 c	0.17 b	20 502.22 d	41.38 b	4
DY	0.20 e	3.15 b	0.08 d	0.13 b	14 073.73 e	17.20 c	5
DL	0.12 e	3.05 b	0.02 d	0.11 b	12 256.00 e	16.79 c	6

2.6 不同种植方式对马铃薯经济收益的影响

由表 3 可知,露地无灌溉处理需人工、种子、化肥与农药的投入成本最低,总收入为 15 530.31 元·hm⁻²,黑色地膜下滴灌的投入最高,为 2 3310 元·hm⁻²,总收入也最高,为 63 216.57 元·hm⁻²。各处理的纯收益为 2 270.31~39 906.57 元·hm⁻²,其中灌水处理较高,WF、WY、WL 分别为 39 906.57、25 115.29、19 395.70 元·hm⁻²,收益以覆黑色膜最高,其次为液

态膜,最低为露地。不同种植方式的产投比介于 1.17~2.71,灌水下的产投比较高,以黑色膜下滴灌最高。

2.7 不同种植方式下马铃薯各性状指标的相关性分析

由表 4 可以看出,不同种植方式下马铃薯的株高、茎粗、IAI(叶面积指数)、SPAD、单株结薯数、产量之间均呈极显著正相关,反映出这些指标在马铃

表 3 不同处理的经济效益分析
Table 3 Economic benefit analysis of different treatments (Yuan·hm⁻²)

处理 Treatment	总投入 Total input					总收入 Total income	纯经济收益 Economic benefits	产投比 The ratio of output to input
	地膜、液态膜 Plastic film, liquid film	滴灌带 Drip tape	人工 Labor cost	灌水 Irrigation cost	种子、化肥、农药 Seeds, fertilizers, pesticides			
WF	1800	5250	6750	810	8700	63 216.57	39 906.57 a	2.71
WY	1500	5250	6750	810	8700	48 125.29	25 115.29 b	2.09
WL	0	5250	6750	810	8700	40 905.70	19 395.70 c	1.90
DF	1800	0	4560	0	8700	27 996.19	12 936.19 d	1.86
DY	1500	0	4560	0	8700	17 856.75	3 096.75 e	1.21
DL	0	0	4560	0	8700	15 530.31	2 270.31 f	1.17

注:商品薯价格 1.6 元·kg⁻¹,非商品薯价格 1.0 元·kg⁻¹,其中地膜 1800 元·hm⁻²,液态膜 1500 元·hm⁻²,肥料 3000 元·hm⁻²,种子 4950 元·hm⁻²,农药 750 元·hm⁻²。

Note: The price of commercial potato is 1.6 Yuan·kg⁻¹, and the price of noncommercial potato is 1.0 Yuan·kg⁻¹, including 1800 Yuan·hm⁻² for plastic film, 1500 Yuan·hm⁻² for liquid film, 3000 Yuan·hm⁻² for fertilizer, 4950 Yuan·hm⁻² for seeds, and 750 Yuan·hm⁻² for pesticides.

表 4 不同性状指标的相关性分析
Table 4 Correlation analysis of different trait indexes

指标 Index	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	LAI	SPAD	单株结薯数 Number of tubers per plant	产量 Yield
株高 Plant height	1					
茎粗 Stem diameter	0.948**	1				
LAI	0.947**	0.968**	1			
SPAD	0.913**	0.936**	0.874**	1		
单株结薯数 Number of tubers per plant	0.938**	0.965**	0.967**	0.875**	1	
产量 Yield	0.949**	0.955**	0.993**	0.861**	0.946**	1

注:**表示在 0.01 水平极显著相关。
Note: ** represents extremely significant correlation at 0.01 level.

薯生长过程中存在紧密关联性。这些农艺性状与产量指标不仅相互影响,而且能反映出在特定环境下马铃薯的生长状况。产量作为马铃薯种植的最终目标,与上述所有指标均呈极显著正相关。这意味着通过优化种植方式,改善马铃薯的生长环境,提高株高、茎粗、LAI、SPAD 和单株结薯数等指标,最终都可以实现产量的提升。

3 讨论与结论

3.1 滴灌与覆盖方式对土壤水热状况的影响

研究表明,覆盖能够隔绝土壤与外部环境的接触,光热在通过地膜传导到土壤后,膜下水汽凝结成水珠增加了净辐射,热量聚集,被土壤吸收,达到增温的效果,同时覆盖栽培阻挡了水汽向空气的蒸发,起到了保墒作用^[13]。滴灌能起到精准补充根系水分的作用,避免了大水漫灌中水分的无效损耗,具有节水与提高水分利用效率的作用^[14]。本研究表明,马铃薯在整个生育期的土壤累积温度与土壤含水量均表现为黑色地膜滴灌>液态膜滴灌>露地滴灌,无灌溉条件下马铃薯生育期内的累积温度和日土壤平均温度均表现为覆黑色地膜>覆液态膜>露地,土壤温度高低表现为无灌溉>灌溉,灌水下土壤温度偏低的原因可能是夏天灌水对土壤具有降温作用。李一晗等^[15]、王晓光等^[16]的研究同样发现,液体地膜覆盖较露地栽培具有较好的增温保墒作用,但其效果低于塑料地膜,液体地膜处理的土壤平均温度显著低于地膜覆盖,这是由于液体膜的增温作用较地膜覆盖弱。液体膜较地膜保温效果差的原因可能是由液体膜覆盖材料喷洒不均匀,以及覆盖材料与土壤接触密切造成土壤和空气热交换增大所致。由此可见,地膜覆盖滴灌栽培方式对马铃薯土壤的增温保墒效果最好,与樊吴静等^[17]、孔伟程等^[18]的研究结果类似。

3.2 滴灌与覆盖方式对马铃薯生长及产量影响的综合分析

干旱是制约西北寒旱区马铃薯增产的重要因素^[19],种植方式可调控土壤水、肥、气、热,改善土壤微环境,从而促进作物的生长发育^[20]。马铃薯的地上部分茎、叶的长势,叶片颜色深浅,以及生长发育均能够反映出马铃薯生长的健康状况,适宜的栽培与灌水方式能提高马铃薯产量及品质^[21]。本研究表明,马铃薯株高、茎粗、LAI、SPAD、单株结薯数是马铃薯农艺性状与产量性状的重要指标,能反映马铃薯的生长状况,与产量均呈极显著正相关。与传统裸地无灌溉栽培相比,灌溉能够提高马铃薯株高、茎粗、LAI、叶面积指数、产量及商品薯率,均表现为WF>WY>WL>DF>DY>DL,且相同覆盖方式下(F、Y、L),灌水较无灌水分别显著增产 109.74%、138.47%、145.95%。地膜覆盖+滴灌栽培能改善土壤水热条件,促进土壤微生物活动,从而促进作物对土壤养分的吸收。研究表明,地膜覆盖+滴灌栽培能够提高净光合速率,增强作物光合作用^[22]。适宜的水热条件促进了马铃薯的出苗,协调与改善了土壤环境与养分的吸收^[23]。本试验表明,黑色地膜覆盖+滴灌栽培能提高土壤温度与改善土壤环境,促进马铃薯物候期提前,并延长营养生长期。而地膜覆盖+无灌水在马铃薯生育中期因干旱胁迫与地温过高会导致马铃薯发生早衰现象,造成减产。与地膜相比,液体膜增温保墒增产效果次之,无覆盖栽培最差。黑膜覆盖能延缓马铃薯块茎的老化^[24],与液体膜覆盖、露地栽培相比,黑膜覆盖更有利于抑制杂草生长,从而降低杂草对水分的竞争,黑膜覆盖在马铃薯块茎膨大期的适宜温度和黑暗的环境刺激均有益于产量的提高。覆膜与灌水均能提高马铃薯的产量,地膜覆盖与滴灌相结合的栽培措施优势显著,能更加高效地利用光、水、热等资源。

在促进马铃薯生长方面,该措施可显著提高马铃薯的株高、茎粗、叶面积指数(LAI)以及 SPAD。从产量和经济效益来看,此栽培方式能大幅提升马铃薯产量,同时提高经济收益,其产投比可达 2.71,在所有种植方式中最高。这充分表明,黑色地膜覆盖+滴灌的栽培模式在马铃薯种植中具有突出的优势,能够实现资源的优化利用,达到增产增收的良好效果。

综上所述,黑色地膜覆盖栽培能促使马铃薯的抗旱性增强,与滴灌相结合的膜下滴灌栽培措施能够有效改善土壤水热状况,提高马铃薯株高、茎粗、叶面积指数、SPAD 值,促进马铃薯生长,从而提高产量、商品薯率及纯收益,是适宜寒旱区种植与推广应用的马铃薯栽培技术。

参考文献

- [1] 李晓婧,白艳萍,李萌,等.河西走廊水资源变化与生态环境时空关联分析[J].水土保持通报,2019,39(2):275-280.
- [2] 韩翠莲,霍铁珍,朱冬梅.不同灌溉方式对马铃薯光合特性和产量的影响[J].节水灌溉,2018(3):27-29.
- [3] 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.
- [4] 余帮强,吴林科,张国辉,等.膜下滴灌条件下不同补水量对主食化马铃薯生长发育的影响[J].节水灌溉,2019(8):64-67.
- [5] 唐维民,覃金鼓,蒙懿,等.覆盖方式对早熟马铃薯滇黔芋 23 号产量与性状影响[J].中国农学通报,2014,30(12):249-252.
- [6] SHI J, WANG S L, YANG Z X, et al. Characterization and performance evaluation of liquid biodegradable mulch films and its effects on peanut cultivation[J]. Polymers, 2024, 16(17):2487.
- [7] 高恩基,张永胜,李虹彩.不同补灌方式对马铃薯生长特征及水分利用效率的影响[J].中国农村水利水电,2019(11):76-80.
- [8] 王平,谢成俊,孙振荣,等.冷凉灌区马铃薯施肥量与种植密度对马铃薯生长及产量的影响[J].农学报,2023,13(6):17-24.
- [9] 于显枫,张绪成,黄伟,等.有机肥替代化肥对立式深旋松耕马铃薯产量及水肥利用效率的影响[J].西北农业学报,2024,33(10):1872-1882.
- [10] 孙开,王春霞,蓝明菊,等.秋耕对北疆季节性冻融期土壤热状况的影响[J].水土保持学报,2021,35(5):63-71.
- [11] 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.
- [12] 苏明,柳强娟,洪自强,等.西北半干旱区不同施氮量对马铃薯光合特性及产量形成的影响[J].植物营养与肥料学报,2024,30(10):1919-1933.
- [13] 王平,陈娟,谢成俊,等.干旱地区覆盖方式对土壤养分及马铃薯产量的影响[J].中国土壤与肥料,2021(4):118-125.
- [14] 王慧杰,霍利光,李盛,等.灌溉方式与垄作种植对旱地马铃薯水分利用效率及产量的影响[J].华北农学报,2023,38(4):174-180.
- [15] 李一晗,薛婷婷,要菲,等.可降解液态膜在葡萄越冬应用中的安全性调查[J].中外葡萄与葡萄酒,2024(1):36-41.
- [16] 王晓光,孔雪梅,蒋春姬,等.不同材质地膜覆盖对花生产量品质的影响及防风蚀效果研究[J].干旱地区农业研究,2017,35(2):57-61.
- [17] 樊吴静,杨鑫,李丽淑,等.不同灌溉方式对冬种马铃薯土壤理化性状、水分利用效率及块茎产量的影响[J].西南农业学报,2023,36(11):2374-2381.
- [18] 孔伟程,冯绍元,王凤新,等.不同覆膜对滴灌马铃薯土壤水热及其生长的影响[J].水利与建筑工程学报,2020,18(5):10-17.
- [19] 高兰兰,李靖,黄海燕,等.滴灌条件下加气灌溉对云南冬马铃薯根区生境因子和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2022,4(6):108-115.
- [20] 张邦彦,何文寿,李惠霞,等.粉垄与覆膜对宁南旱区土壤物理性状及马铃薯产量的影响[J].干旱地区农业研究,2022(2):27-37.
- [21] 张友良,王凤新,聂唯,等.滴灌条件下覆膜热效益及其对马铃薯生长的影响[J].农业机械学报,2020,51(12):252-261.
- [22] 李志涛,刘震,张俊莲,等.膜下滴灌条件下不同田间持水量对马铃薯生理特性及产量的影响[J].植物生理学报,2022,58(5):946-956.
- [23] 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.
- [24] 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.