

旱地马铃薯不同覆盖种植方式的土壤水热效应及其对产量的影响

汤瑛芳,高世铭,王亚红,张绪成

(甘肃省农业科学院,农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室,甘肃兰州730070)

摘要:在大田条件下,以不同沟垄覆盖种植方式为处理,通过测定土壤含水量、耕层土壤温度和产量等,计算马铃薯耗水量和水分利用效率,研究旱作条件下马铃薯不同覆盖种植方式的土壤水热效应及其对产量和水分利用效率的影响。结果表明,马铃薯采用高垄膜覆盖沟覆草垄播能有效增加马铃薯生育前期地温,苗期日均地温较传统平播(CK)增加了 $0.5^{\circ}\text{C} \sim 2.23^{\circ}\text{C}$, $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤贮水量提高 52.8 mm 。6月底至7月中旬的伏旱期间,高垄膜覆盖沟覆草垄播处理 $0 \sim 25 \text{ cm}$ 土层日均地温较全地膜覆盖处理降低 $3.6^{\circ}\text{C} \sim 6.9^{\circ}\text{C}$,较CK仅增加 $0.6^{\circ}\text{C} \sim 0.8^{\circ}\text{C}$; $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土层土壤贮水量较全膜覆盖处理增加 $6.2 \sim 8.3 \text{ mm}$,较CK增加 27.3 mm 。表明采用高垄膜覆盖沟覆草垄播种植,可改善伏旱期间的土壤水热状况,有利于马铃薯的生长发育,产量和水分利用效率较其它覆盖种植方式分别提高 $8.39\% \sim 58.38\%$ 和 $8.46\% \sim 67.97\%$ 。因此,高垄膜覆盖沟覆草垄播处理实现了水温对马铃薯生长的协同作用,能显著提高马铃薯对自然降水的利用效率和产量。

关键词:旱地;马铃薯;覆盖方式;水热效应;产量

中图分类号: S532.048 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0001-07

Soil water and thermal effects of different mulching and planting methods and their influences on yield in dryland potato production

TANG Ying-fang, GAO Shi-ming, WANG Ya-hong, ZHANG Xu-cheng

(Key Laboratory of Northwest Crop Drought-resistant Farming, Ministry of Agriculture, Gansu Academy of Agriculture Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Potato is the one of main crops in arid and semiarid areas of the Northwest Loess Plateau. How to increase the rainwater use efficiency of potato is the most important issue for local potato-industry development, the field experiment included different mulching methods and furrow-ridge planting model as the treatments. The topsoil temperature, soil moisture and distribution, and crop yield were investigated. The water consumption and water use efficiency were also calculated to study the water-thermal effect of different planting models on potato yield and water use efficiency in the Northwest Loess Plateau. The results showed that as the dyadic mulching and furrow-ridge cultivating method were used, in which the furrow was covered by crop straw and the ridge was covered by plastic membrane, the daily average soil temperature in the $0 \sim 25 \text{ cm}$ profile increased by $0.5^{\circ}\text{C} \sim 2.23^{\circ}\text{C}$, and soil water storage increased by 52.8 mm in the $0 \sim 100 \text{ cm}$ profile, as compared with the traditional planting method (CK) for potato in early developmental stage. Additionally, the soil temperature and water storage did not significantly differ from the plastic mulching treatment. In drought summer, from the end of June to the middle of July, the daily average soil temperature in $0 \sim 25 \text{ cm}$ profile under plastic-straw dyadic mulching and furrow-ridge cultivating methods decreased by $3.6^{\circ}\text{C} \sim 6.9^{\circ}\text{C}$ as compared with plastic mulching treatments, only increased by $0.6^{\circ}\text{C} \sim 0.8^{\circ}\text{C}$ as compared with the CK. For the soil water storage in the $0 \sim 100 \text{ cm}$ profile, it increased by $6.2 \sim 8.3 \text{ mm}$ and 27.3 mm as compared with the plastic mulching treatment and CK, respectively. Additionally, the yield and water use efficiency increased by $8.39\% \sim 58.38\%$ and $8.46\% \sim 67.97\%$ respectively, as compared with the other treatments. Therefore, plastic-straw dyadic mulching and furrow-ridge cultivating method could coordinate water and thermal effects on potato development, and increase potato yield and water use efficiency in arid areas of the Northwest Loess Plateau.

Keywords: dryland; potato; mulching method; water-thermal effect; yield

收稿日期:2012-04-06

基金项目:农业部行业科技专项(201203031-05);甘肃省科技支撑计划(1104NKCA085)

作者简介:汤瑛芳(1972—),女,甘肃民勤人,副研究员,主要从事旱地作物栽培和工程咨询方面的工作。

通信作者:张绪成(1973—),男,甘肃民勤人,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事植物生理和农业生态学方面的研究工作。

提高自然降水利用效率是旱区作物稳产高产的根本途径^[1],除通过改善作物种植结构、作物水分利用状况提高降水利用效率外,通过农艺措施降低棵间无效蒸发和提高自然降水入渗效率成为当前旱地农业作物栽培领域研究的热点问题^[2-4]。覆盖是一项传统的保持土壤水分、阻断土面蒸发的技术措施,能够有效地改善作物生长微生境的水分条件而提高自然降水利用效率^[6-8];而以田间微地形营造聚集自然降水,使得小于 10 mm 的自然降水能够有效入渗并保持,同样是目前较大范围应用的一项提高自然降水利用效率的技术途径^[8-9]。甘肃省目前大面积推广的全膜双垄沟播玉米,将田间微地形集水和地膜覆盖保墒有机结合,使玉米产量较半膜覆盖种植提高 30% 以上,较全地面地膜覆盖平种提高 20% 以上,水分利用效率较裸地种植提高了 120% 以上^[5],显著地提高了自然降水的利用效率。

地膜覆盖不仅能够改善土壤水分状况,而且能够显著提高作物生长前期的地温和养分特性,改变了作物生长的微环境^[9-15],对于喜温作物而言,它实现了土壤水分和温度对作物发育的协同作用。但是,对于马铃薯等喜凉作物而言,土壤温度过高会对其生长形成胁迫^[16-17]。因此,通过改变覆盖材料来适当降低土壤温度和保持土壤水分,从而使土壤微环境更适宜于马铃薯的生长,可提高马铃薯生产对自然资源的利用效率。作物秸秆+地膜二元覆盖能够在保持土壤水分的同时,较全地膜覆盖降低土壤温度^[3-4],结合垄沟种植能够有效聚集自然降水的功能^[18-20],将能够在改善土壤水分条件的基础上降低地温。然而,目前就半干旱区马铃薯作物秸秆-地膜二元覆盖垄沟种植的土壤水热效应及其对作物产量的影响,鲜有研究报道。本试验以不同覆盖方式和沟垄种植方式为处理方法,通过测定马铃薯生育前期的土壤温度、水分含量分布及其产量,计算耗水量和水分利用效率,研究西北黄土高原半干旱区旱地不同覆盖种植方式的土壤水热效应以及其对马铃薯产量和水分利用效率的影响。这一研究对认识不同覆盖方式对土壤水热条件的效应,及对马铃薯产量和水分利用效率的影响有较为重要的意义,并为改进旱作区马铃薯高产高效种植技术体系有一定的指导作用。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验设在甘肃省农科院定西试验站,地处甘肃省中部定西市安定区,海拔 1 950 m,年平均气温

6.2℃,年降雨量 415 mm,无霜期 140 d,≥10℃积温 2 075.1℃,年辐射总量 5 898 MJ·m⁻²,年日照 2 500 h,为典型的半干旱生态类型。试验区土壤为黄绵土,0~30 cm 土壤基础养分 NH₄⁺-N 4.8 mg·kg⁻¹,NO₃⁻-N 0.8 mg·kg⁻¹,全 P 25.3 mg·kg⁻¹,全 K 172.8 mg·kg⁻¹,速效 P 8.67 mg·kg⁻¹,速效 K 121.50 mg·kg⁻¹,土壤容重 1.25 g·cm⁻³,pH 值 8.35。

1.2 试验设计

试验于 2010 年实施,采用完全随机区组设计,共设 7 个处理(表 1),3 次重复。小区面积 42 m²(6 m×7 m),每小区 190 株,行距 55 cm,株距 40 cm,种植密度 45 000 株·hm⁻²,小区间距 0.5 m。垄沟种植垄宽 70 cm,沟宽 40 cm,每垄/沟种植 2 行。播前一次性施入农家肥 45 t·hm⁻²、纯 N 150 kg·hm⁻²、P₂O₅ 105 kg·hm⁻²、K₂O 135.0 kg·hm⁻²。结合施肥用 40% 甲基异硫磷乳油 7.5 kg·hm⁻²加细沙土,制成毒土施入土壤,防治地下害虫。试验地传统耕作,即在马铃薯播前结合施肥进行翻耕,深度 15~17 cm,然后根据试验设计起垄覆膜。整地起垄前用 50% 乙草磷乳油 2.25~3.00 kg·hm⁻²兑水 600~750 kg 全地面均匀喷雾,用手耙混土 3~4 cm 深。于 4 月 20 日起垄覆膜覆草,起垄要求垄面平整细致,铺膜时力求达到紧、平、严的标准,4 月 22 日人工“品”字形等距点播,杂草手工拔除,全生育期不追肥灌水。

1.3 测定项目和方 法

1.3.1 地温 用曲管地温计,在马铃薯播前、苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和成熟期(分别为播种后 0、41、70、88、103、136 d),选择晴天在 8:00、14:00、20:00 时测定各处理马铃薯种植行中间的 5、10、15、20、25 cm 土层地温,每处理测定 3 次重复。

1.3.2 土壤含水量 土壤含水量的测定采用传统的土钻取样,取样点在两行马铃薯中间。用烘干法分别在马铃薯播前、苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和成熟期测定 0~100 cm 土壤含水量。测定层次分别是:0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~100 cm。每处理测定 3 次重复。

1.3.3 产量测定 马铃薯成熟后,按小区收获,称取鲜薯重。单位面积鲜薯产量(kg·hm⁻²)=小区鲜薯产量(kg)÷小区面积(42 m²)×10 000。每处理测定 3 次重复。

1.3.4 农田水分利用效率(WUE)计算 按照房全孝等^[21]的方法,WUE=鲜薯产量/(播前 1 m 土层土壤贮水量-收获后 1 m 土层土壤贮水量+生育期降水量),每处理测定 3 次重复。

表 1 试验描述

Table 1 Treatments description

处理 Treatments	操作方法 Operational approaches
低垄全膜覆盖沟播 (LRFPM) Low ridge-furrow sowing with plastic mulch	全地面覆盖地膜, 垄高 15 cm, 马铃薯沟内播种 Whole field mulched by plastic, the height of ridge is 15 cm. Potato planted in the bottom of furrow.
低垄全膜覆盖垄播 (LRRPM) Low ridge-ridge sowing with plastic mulch	垄高 15 cm, 垄上覆盖地膜, 马铃薯垄上播种 Whole field mulched by plastic, the height of ridge is 15 cm. Potato planted on the side of ridge.
高垄全膜覆盖垄播 (HRRPM) High ridge-ridge sowing with plastic mulch	垄高 30 cm, 垄上覆盖地膜, 马铃薯垄上播种 Whole field mulched by plastic, the height of ridge is 30 cm. Potato planted on the side of ridge.
高垄膜覆盖沟覆草垄播 (HRRPSM) High ridge-ridge sowing with ridge covered by plastic and furrow covered by straw	垄高 30 cm, 垄上覆盖地膜, 垄沟覆盖秸秆, 马铃薯垄上播种 Whole field mulched by straw, the height of ridge is 30 cm. Potato planted on the side of ridge.
高垄全草覆盖垄播 (HRRSM) High ridge-ridge sowing with straw mulch	垄高 30 cm, 垄、沟覆盖秸秆, 马铃薯垄上播种 Ridge mulched by plastic and furrow mulched by straw, the height of ridge is 30 cm. Potato planted on the side of ridge.
垄沟裸地 (HRR) High ridge-ridge sowing without mulch	垄高 30 cm, 马铃薯垄上播种 The height of ridge is 30 cm. Potato planted on the side of ridge, without mulch.
传统平播 (CK) Flat sowing without mulch	直接将马铃薯平播于 10 cm 的土壤中 Potato planted in flat field.

1.4 数据处理

所有试验数据采用 Microsoft Excel 2003 进行处理、绘图, 采用 DPS 7.5 统计软件进行方差分析, 数据保留两位有效数字。

2 结果与分析

2.1 旱地马铃薯不同覆盖种植方式对土壤温度的影响

2.1.1 不同栽培模式下马铃薯全生育期土壤耕层平均温度的变化 在马铃薯全生育期, 不同覆盖种植方式的土壤耕层温度有显著变化(图 1)。在生育前期(播前和苗期)全草覆盖处理的平均耕层温度最

低, 在生育后期(块茎形成期以后)全草覆盖处理、垄沟裸地和传统平播处理的耕层温度无显著差异; 在全生育期以高垄全膜覆盖垄播处理的耕层温度最高, 且与全草覆盖和裸地种植处理之间达到显著差异。低垄全膜覆盖沟播处理的耕层温度除在播前、淀粉积累期和收获期与高垄全膜覆盖垄播处理差异不显著外, 在其它生育期均显著较低, 表明高垄种植具有显著提高地温的作用。高垄草膜二元覆盖垄播处理的耕层温度除收获期外均低于全膜覆盖处理, 而且在块茎形成期和增大期达到显著差异水平, 但高垄草膜二元覆盖垄播处理的耕层温度高于全草覆盖和裸地处理, 并自苗期至淀粉积累期变化幅度较

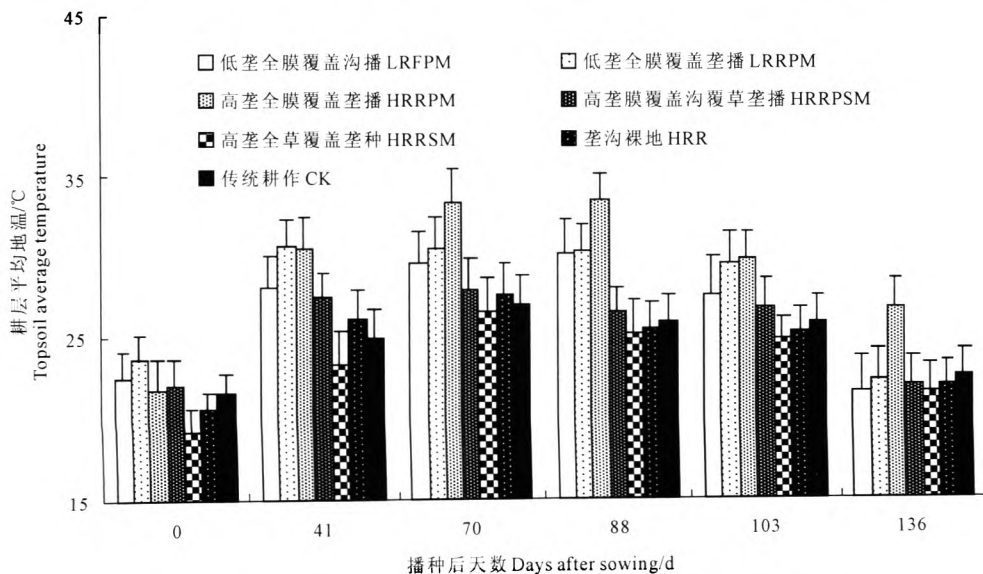


图 1 马铃薯全生育期不同栽培模式下 0~25 cm 土层平均温度的变化

Fig.1 Change of topsoil temperature in 0~25 cm profile in whole potato growth stages under different cultivating patterns

小。结果表明,起垄能够提高马铃薯生育期地温,高垄较低垄效果更明显。地膜覆盖具有明显的增温效应,虽然高垄草膜二元覆盖垄播处理同样能够提高耕层温度,但增温幅度较小,并且地温在全生育期相对稳定。

2.1.2 不同栽培模式下土壤耕层温度的纵向变化

早晨 8:00 低垄全膜覆盖处理的地温最高,高垄全覆草垄种处理最低(见表 2)。地膜覆盖处理 5 cm 土层的地温较裸地处理和覆草处理为高,覆草处理较裸地处理高;在 10 cm 和 25 cm 土层,低垄全膜覆盖

处理的地温较高垄全膜覆盖高,地膜覆盖处理高于全草覆盖和裸地垄沟处理,传统平播(CK)则较垄沟裸地和高垄全草覆盖垄种高。就地温的纵向变化趋势看,高垄膜覆盖沟覆草垄播和高垄全草覆盖垄种处理的地温变化幅度最小。因此,地膜覆盖能够显著提高地表温度,各覆膜处理在 5、10、15、20、25 cm 的地温较传统平播分别高 0.39℃~2.26℃、0.51℃~2.71℃、0.18℃~2.58℃、0.68℃~3.08℃、0.09℃~1.83℃;而覆草处理对于保持地温的稳定有积极作用。

表 2 不同栽培模式对土壤温度的影响(8:00)/℃

Table 2 The effects of different planting patterns on soil temperature at 8:00 am

处理 Treatments	土层深度 Soil profile/cm					平均 Average
	5	10	15	20	25	
低垄全膜覆盖沟播 (LRFPM)	19.10a	19.30a	20.69a	21.50a	20.77ab	20.27a
低垄全膜覆盖垄播 (LRRPM)	18.73a	19.81a	20.77a	21.24a	21.63a	20.42a
高垄全膜覆盖垄播 (HRRPM)	19.00a	18.34b	18.40b	20.19b	21.17a	19.10b
高垄膜覆盖沟覆草垄播 (HRRPSM)	17.93b	18.60ab	19.09b	19.91b	19.89b	19.09b
高垄全草覆盖垄种 (HRRSM)	16.97c	16.60c	17.10d	17.86d	18.66c	17.60c
垄沟裸地 (HRR)	16.26c	16.76c	17.91c	18.57c	18.77c	17.79c
传统平播 (CK)	16.84c	17.10c	18.19bc	18.42cd	19.80b	18.38bc

注:同一列相同字母表示在 5% 水平无显著差异。下同。

Note: Values marked with same letters in the column were no significantly difference at $P = 0.05$ level. The same as below.

中午 14:00 全膜覆盖垄播处理的地温最高,高垄全覆草垄种处理最低(见表 3)。各处理 5 cm 土层的地温有急剧升高,但仍以全膜覆盖处理最高、垄沟裸地处理最低;在 10~25 cm 土层,低垄全膜覆盖垄播处理的地温最高,高垄膜覆盖沟覆草垄播处理的地温最低。这证明覆膜能够较为快速地提高地表温度,而覆草处理地表温度上升缓慢。不同处理各层次平均地温随土层的增加表现出由高到低减少的趋

势,5 cm 处与 25 cm 处的地温差值在 4.91℃~12.69℃之间,且有随深度增加,各处理相同层次地温差呈逐渐减小的趋势,但高垄膜覆盖沟覆草垄播处理的地温纵向变化幅度仍为最小。所以,全膜覆盖能够快速而显著地提高地表温度,其纵向变化幅度同样较大;覆草处理升温速度较慢,地温处于相对较低的水平,其地温纵向变化幅度较小,地温相对稳定。

表 3 不同栽培模式对土壤温度的影响(14:00)/℃

Table 3 The effects of different planting patterns on soil temperature at 2:00 pm

处理 Treatments	土层深度 Soil profile/cm					平均 Average
	5	10	15	20	25	
低垄全膜覆盖沟播 (LRFPM)	32.40b	25.67c	23.14c	22.93ab	22.33a	25.31b
低垄全膜覆盖垄播 (LRRPM)	32.90b	28.27a	26.49a	23.69a	22.56a	26.78a
高垄全膜覆盖垄播 (HRRPM)	34.80a	28.49a	24.57b	23.17ab	22.11a	26.64a
高垄膜覆盖沟覆草垄播 (HRRPSM)	30.97c	27.16b	24.57b	22.83ab	22.13a	25.53a
高垄全草覆盖垄种 (HRRSM)	29.29c	23.76d	22.14c	20.11c	19.37b	22.93c
垄沟裸地 (HRR)	26.60d	23.89d	22.89c	22.00ab	21.69ab	23.42c
传统平播 (CK)	30.86c	25.80c	22.94c	21.46b	20.89ab	24.39bc

晚上 20:00 全膜覆盖垄播处理的地温最高,高垄全草覆盖沟种处理最低(见表 4)。全膜覆盖处理在 5 cm 的地温显著高于全草覆盖处理和垄沟裸地处理,且以传统平播方式最低、低垄全膜覆盖垄播最

高;在 5~25 cm 土层,以全膜覆盖垄播处理的地温最高,全草覆盖处理最低,高垄膜覆盖沟覆草垄播处理的地温虽然较全膜覆盖垄播低,但显著高于全覆草和裸地处理。就地温的纵向变化幅度看,各处理

的地温均随土层增加呈先升高后降低的趋势,而高垄膜覆盖沟覆草垄播处理的变化幅度明显低于全膜覆盖垄播。因此,全膜覆盖在 20:00 仍保持较高的

地温,而全草覆盖最低,高垄膜覆盖沟覆草垄播处理介于二者之间,但其纵向变化幅度相对较小,维持了相对稳定的地表温度。

表 4 不同栽培模式对土壤温度的影响(20:00)/℃

Table 4 The effects of different planting patterns on soil temperature at 8:00 pm

处理 Treatments	土层深度 Soil profile/cm					平均 Average
	5	10	15	20	25	
低垄全膜覆盖沟播 (LRFPM)	24.81b	24.66c	25.40bc	24.73b	23.94b	24.71b
低垄全膜覆盖垄播 (LRRPM)	26.74a	26.34b	27.73a	25.69ab	25.39a	26.38a
高垄全膜覆盖垄播 (HRRPM)	25.79ab	27.34a	26.54b	26.20a	25.17a	26.21a
高垄膜覆盖沟覆草垄播 (HRRPSM)	25.6ab	26.31b	26.00ab	25.61ab	24.59ab	25.62ab
高垄全草覆盖垄种 (HRRSM)	22.93c	23.66d	23.27c	22.01d	21.20c	22.61d
垄沟裸地 (HRR)	23.36c	24.14cd	24.14c	23.84c	23.17b	23.73c
传统平播 (CK)	22.83c	23.77cd	24.20bc	24.03bc	23.51b	23.67c

就地表温度全天变化状况看,各处理地温在全天的变化幅度均以 5 cm 土层最为活跃,并随土层深度增加其变化幅度明显减弱。不同处理的地温在全天的变化幅度有显著差异,在 5 cm 土层,以全膜覆盖和裸地种植的变化最为活跃,而覆草处理则较弱;在 10~25 cm 土层,以低垄全膜覆盖垄播处理的地温在全天的变化最为剧烈,高垄膜覆盖沟覆草垄播次之,而高垄全草覆盖垄种最弱。以上结果表明,全膜覆盖能显著提高地温,但其地温在全天的纵向变化幅度较大,虽然覆草处理增温效果不明显,但其对保持土壤温度的稳定性有积极意义;垄播处理能够在全天快速提高地温,但其温度变化幅度较沟播剧烈。

2.2 旱地马铃薯不同覆盖栽培模式对土壤水分变化的影响

2.2.1 不同覆盖种植方式对全生育期土壤贮水量的影响

不同处理 0~100 cm 土层的土壤贮水量在马铃薯生长后期有显著差别(图 2)。在马铃薯生长前期(播种~块茎形成期),由于降雨较少(降水量为 37.3 mm),作物蒸腾耗水量较大,土壤贮水量达到低谷。传统平播(CK)土面蒸发强烈,其土壤贮水量最低,0~100 cm 土层的土壤贮水量为 148.29 mm。在马铃薯块茎增长期由于降雨量增加,不同处理的土壤贮水量有增加趋势;块茎增长期~淀粉积累期由于马铃薯地上部分生物量较大,土壤水分大量蒸腾损失,虽然此期降水量较多,但土壤贮水量增加幅度较小;淀粉积累期以后由于降水减少,而此期马铃薯蒸腾仍处于较高水平,所以土壤贮水量呈微弱下降。

播前不同处理间的土壤贮水量无显著差异,苗期垄沟裸地和传统平播处理的土壤含水量低于其它

处理,这主要由于春季温度较高、土面蒸散强烈造成;在块茎形成期以后,处理之间差异较明显(如图 2)。在伏旱阶段的块茎形成期,高垄全草覆盖垄种处理的土壤含水量显著高于其它处理,0~100 cm 土层的土壤含水量为 177 mm,而且在块茎增长期仍处于相对较高的水平;高垄草膜二元覆盖垄播处理在伏旱阶段的块茎形成期土壤含水量处于相对较高的水平,高于除高垄全草覆盖垄种和垄沟裸地处理外的其他栽培处理。在块茎增长期及以后阶段,低垄全膜覆盖沟播处理的土壤含水量最高,但这一阶段土壤水分得到一定的补充,除裸地处理外,其余处理土壤含水量之间的差异明显降低。高垄全草覆盖垄播处理由于地温较低,一方面马铃薯生长较慢,作物蒸腾较低;另一方面较低的地温限制了土壤水分的蒸散,因此在开花期土壤水分含量高于其它处理。

2.2.2 不同覆盖种植方式对土壤水分垂直分布的影响

从图 3 可以看出,受覆盖种植方式的影响,土壤水分垂直方向变异很大,并随马铃薯的生长发育,这种变化加大,而 60~100 cm 土层的土壤含水量在处理间变化不很明显。播前各处理 0~60 cm 土层土壤含水量垂直分布无明显差别,而在块茎形成期后出现明显分异。在块茎形成期,各处理 0~60 cm 土层的土壤含水量在各层次之间有较为明显的变化,高垄全草覆盖垄种处理的土壤含水量最高,但在不同土层之间变化较小。

与裸地处理相反,全膜覆盖处理虽然在表层(0~10 cm 土层)含水量相对较高,但在 20~60 cm 土层含水量显著下降,这主要是由于覆盖后促进马铃薯发育,发达的冠层增加了水分蒸腾散失;由于高垄草膜二元覆盖垄播处理地温较低,马铃薯发育晚于全膜覆盖处理,水分的蒸腾散失相对弱于全膜覆盖

处理,因此 20~40 cm 土层的土壤含水量相对较高,这有利于马铃薯后期的水分利用。在收获期由于自然降雨增加,土壤水分得到补充,处理间的土壤含水量垂直分布的差异降低,低垄全膜覆盖沟播处理的表层土壤含水量最高,但在 20~40 cm 土层,高垄全

草覆盖垄种和高垄草膜二元覆盖垄播处理的土壤含水量最高。结果表明,地膜覆盖能够有效增加 0~10 cm 表层土壤含水量,而 20~60 cm 土层含水量较低;但草覆盖能够使得 0~40 cm 土层土壤含水量处于较高水平。

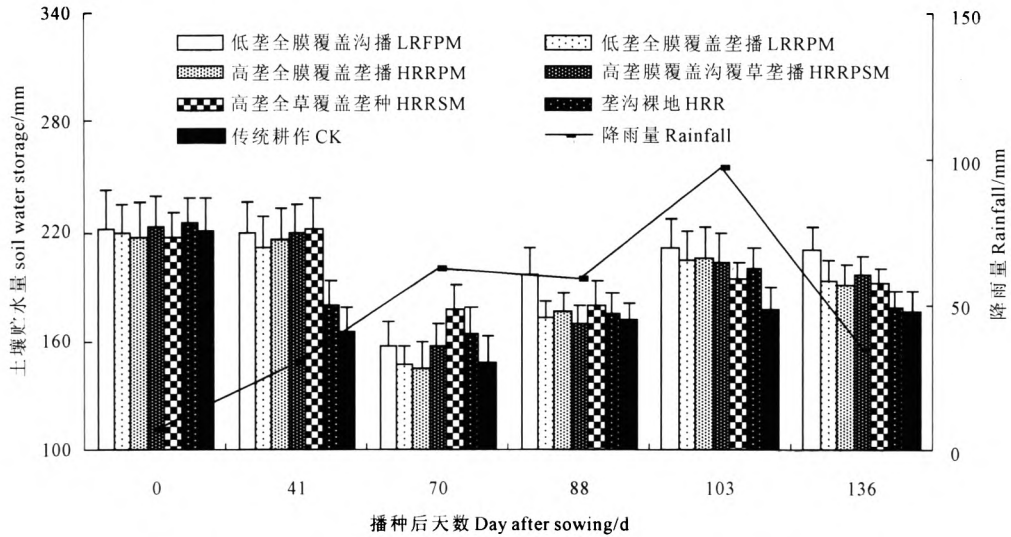


图 2 不同栽培模式下土壤水分含量在马铃薯全生育期的变化

Fig.2 Change of soil water content in whole potato growth stages under different cultivating patterns

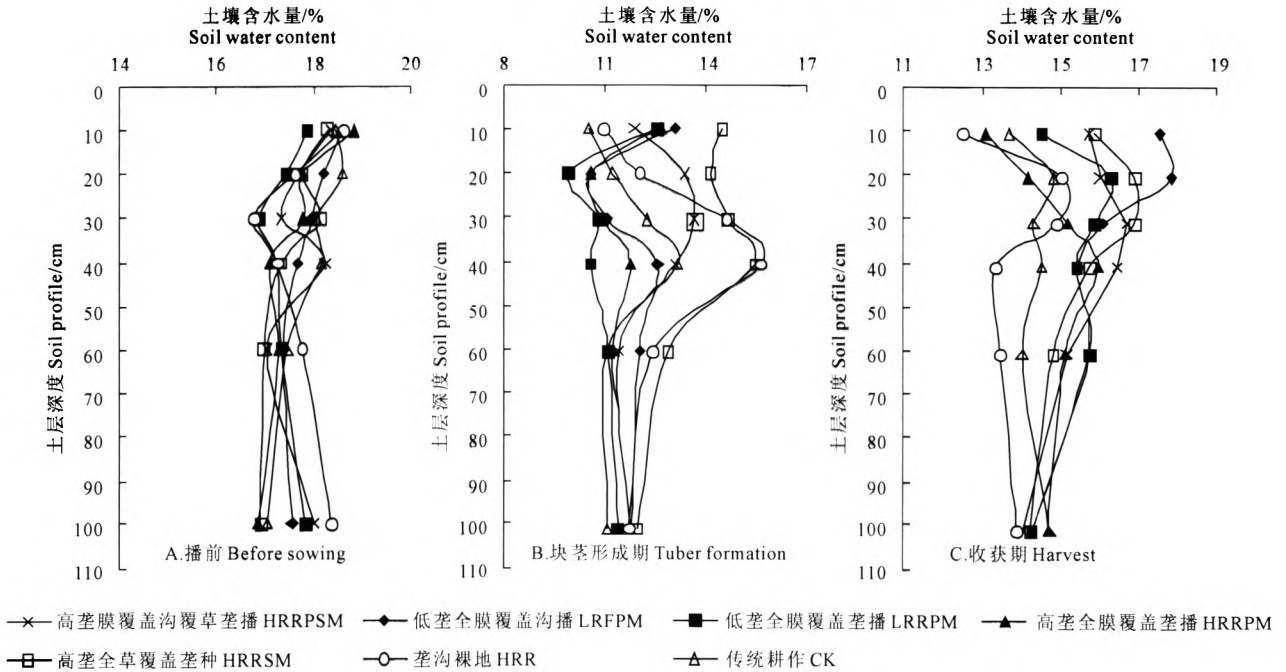


图 3 旱地马铃薯不同栽培模式的土壤水分垂直变化

Fig.3 Vertical change of soil water content under different potato cultivating patterns

2.3 不同覆盖栽培方式对旱地马铃薯产量及水分利用效率的影响

不同处理的马铃薯产量和水分利用效率结果见表 5,高垄草膜二元覆盖垄播产量最高,为 22 350 kg·hm⁻²,较传统平播增加了 58.38%,较其它处理

高 8.39%~46.43%;其水分利用效率也最高,为 71.05 kg·hm⁻²·mm⁻¹,较传统平播增加了 67.97%,较其它处理高 8.46%~51.91%。低垄全膜覆盖垄播和高垄全膜覆盖垄播之间的产量无显著差异,而且水分利用效率在 3 种全膜覆盖种植模式间无显著

差异。全草覆盖后产量较裸地垄沟种植有一定降低,这可能主要是覆草后地温下降所致,影响了前期发育;而高垄草膜二元覆盖垄播处理由于地温有一

定增加,促进马铃薯前期发育,而且土壤水分含量保持在较高水平,促进了马铃薯的个体发育和产量形成,表现最高的产量和水分利用效率。

表 5 不同覆盖栽培方式对马铃薯产量和水分利用效率的影响

Table 5 Effects of different treatments on yield and water use efficiency of potato

处理 Treatments	土壤贮水量/mm Soil water storage		降水量 Rainfall /mm	耗水量 ET /mm	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
	播前 Sowing	收获 Harvest				
低垄全膜覆盖沟播(LRFPM)	202.1	219.5	289.4	301.65b	19287c	63.94b
低垄全膜覆盖垄播(LRRPM)	206.5	183.5	289.4	315.26ab	20263bc	64.27b
高垄全膜覆盖垄播(HRRPM)	208.5	211.4	289.4	314.75ab	20620b	65.51b
高垄膜覆盖沟覆草垄播(HRRPSM)	202.3	170.2	289.4	314.59ab	22350a	71.05a
高垄全草覆盖垄种(HRRSM)	199.8	171.7	289.4	314.18ab	15263de	48.58c
垄沟裸地(HRR)	201.6	168.5	289.4	335.12a	15675d	46.77cd
传统平播(CK)	197.9	176.5	289.4	333.63a	14112e	42.30d

3 讨论与结论

覆盖保墒是提高旱地自然降水利用效率的主要措施之一,能够有效地提高黄土高原农田生态系统生产力^[22-23]。但覆盖方式的选择必须充分考虑自然生态因素、不同作物生长习性等因素影响作物生长发育的多种因子。在西北黄土高原丘陵沟壑区地膜覆盖种植对土壤环境和作物生长发育的研究报道较多,如地膜小麦栽培对土壤环境具有明显的负面作用,并不利于产量提高^[13-15],但渭北旱塬小麦草-膜二元覆盖则取得了成功,被大面积推广应用^[3];而且全膜双垄沟播玉米也是一个成功的技术范例,显著地提高了作物产量和水分利用效率^[5]。所以覆盖方式的选择对于技术应用效果有十分重要的作用。本试验结果表明,与全膜双垄沟播相比较,草-膜二元覆盖垄种技术不但能有效地增加马铃薯发育前期的地温和积蓄自然降水,而且降低了伏旱时期高温胁迫对马铃薯生长的不利影响,实现了水温对马铃薯生长的协同作用,使得产量和水分利用效率较其它种植模式分别提高 8.39%~58.38% 和 8.46%~67.97%。

韩思明等^[3]的研究表明,草-膜二元覆盖栽培模式不仅能够有效地聚集降雨,而且能够在一定程度上提高地温,促进前期发育并减缓后期高温对作物的胁迫。马铃薯是喜凉作物,高温势必对其生长发育造成不利影响^[16],在集雨保水措施应用的同时,必须充分考虑覆盖材料的增温效果对马铃薯生产的可能不利影响。在草-膜二元覆盖垄种的栽培条件下,地温处于相对较低的水平;而且使土壤水分处于相对较高的水平,并将较多的水分贮存于 20~

40 cm 根系密集层,这对提高马铃薯对土壤水分的利用具有十分重要的促进作用。所以,高垄草膜二元覆盖垄种可实现水温对马铃薯生长的协同作用,使其产量和水分利用效率均最高。在低垄全膜覆盖沟种条件下,虽然土壤水分较高,但其地温相对较高,而且马铃薯种植在犁底层,不利于块茎的形成和发育,所以产量和水分利用效率较低。

参考文献:

- [1] 山 仑,陈培元.旱地农业生理生态基础[M].北京:科学出版社,1998.
- [2] 赵松岭.集水农业引论[M].西安:陕西科学技术出版社,1996:15-16.
- [3] 韩思明.黄土高原旱作农田降水资源高效利用的技术途径[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):1-9.
- [4] 薛少平,朱 琳,姚万生,等.麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J].农业工程学报,2002,18(6):71-73.
- [3] 孙大鹏,万 伦.甘肃半干旱区地膜覆盖再利用免耕技术效应与前景分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):60-63.
- [4] Li X Y, Gong J D, Gao Q Z, et al. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions[J]. Agr Water Manage, 2001,50:173-183.
- [5] Li Y S, Wu L H, Zhao L M, et al. Influence of continuous plastic film mulching on yield, water use efficiency and soil properties of rice fields under non-flooding condition[J]. Soil Tillage Res, 2007,93:370-378.
- [6] 梁永超,胡 锋,朱退亮,等.水稻覆膜旱作高产节水机理研究[J].中国农业科学,1999,32(1):26-32.
- [7] 潘 渝,郭 谨,李 毅,等.地膜覆盖条件下的土壤增温特性[J].水土保持研究,2002,9(6):130-134.
- [8] Cook H F, Valdes C S B, Lee H C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L[J]. Soil Tillage Res, 2006,91:227-235.

(下转第 13 页)

3.1 深层松土扩容功能

10~20 cm 土层,不同措施之间土壤容重变化明显,传统耕作的容重值在 $1.55 \sim 1.57 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,实施秸秆深还和化肥深施技术土壤容重大幅度降低,由 $1.57 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 下降至 $1.27 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。大剂量秸秆深还 ($1.2 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) 集中的层次,其土壤容重始终保持在 $1.20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 以下,且不随时间的加长而剧烈变化,松土的效果持续稳定。化肥深施的处理随着时间的延长,土壤逐渐沉实,土壤容重趋近于传统耕作。

3.2 深层蓄水缓冲功能

试验的第一年,由于深耕的结果,土壤含水量随耕深而增加,到 20~30 cm 秸秆深还处理的土壤含水量陡然降至 11.45%,这是因为这个深度正是秸秆集中的部位,土壤含水量下降是因为秸秆大量吸水并占据大量的空间,随着时间的加长秸秆逐渐腐熟,吸水作用渐见微弱。翌年干旱的情况下,降水量由 193.9 mm 下降到 35.1 mm,对照区各层次土壤含水量明显低于其他两种处理,秸秆深还和化肥深施的处理,由于大机具的深耕扩容作用保持了相当的土壤水分,因此使得各层土壤含水量随测定深度的增加而持续稳定地上升,特别是秸秆深还处理的 20~30 cm 处的土壤含水量在相对干旱的季节仍保持在 16.39%,这就说明当大剂量的秸秆通过大犁具机械化深还加深了耕层,拓展了土壤的蓄水空间,大剂量的秸秆经过一系列的吸水过程后把水分保持在疏松的土壤和秸秆中,在土壤与作物相对干旱的时候,持续不断地向外释放水分。

3.3 御旱增产功能

2010年秸秆深还和化肥深施技术的玉米平均

产量分别达到 $13\ 094.3 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $12\ 782.66 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,分别比传统耕作增产 9.04% 和 6.44%。2011年全年的降水量比上一年减少了 158.8 mm,且正值玉米产量形成的关键时期遭遇大旱,这一时期的降水量仅为 35.1 mm,秸秆深还和化肥深施技术的玉米平均产量分别达到 $12\ 053.10 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $11\ 523.45 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,分别比传统耕作增产 9.64% 和 4.82%。由此可以看出,所试验的培肥技术表现出了强大的御旱功能和持续增产的优势。

参考文献:

- [1] 张玉龙,黄毅,邹洪涛,等.辽西地区干旱特征与降雨资源调控的可行性分析[J].农业科技与装备,2007,(6):10-11.
- [2] 黄毅,张玉龙,邹洪涛,等.辽西北旱农区的气候特点与土壤墒情调控[J].水土保持通报,2007,27(6):203-206.
- [3] 张玉玲,张玉龙,黄毅,等.辽西半干旱地区深松中耕对土壤养分及玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):167-170.
- [4] 路钰.辽宁省耕地土壤养分调查结果报告[J].杂粮作物,2004,24(3):174-175.
- [5] 贺光.辽宁省耕地土壤养分监测及变化评价[J].杂粮作物,2001,21(2):36-38.
- [6] 黄毅,邹洪涛,虞娜,等.辽西旱农区雨水资源跨时空调控技术研究[J].水土保持学报,2006,20(5):126-129.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.
- [8] 刘孝义,依艳丽.土壤物理学基础及其研究法[M].沈阳:东北大学出版社,1998.
- [9] 李文革,李倩,贺小香.秸秆还田研究进展[J].湖南农业科学,2006,(1):46-48.
- [10] 冯国明.秸秆还田方式及利弊分析[J].湖南农机,2009,(5):27

(上接第7页)

- [9] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters[J]. Eur J Agron, 2009, 31:241-249.
- [10] Zhang S, Lovdahl L, Grip H, et al. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China[J]. Soil Tillage Res, 2009,102:76-86.
- [11] 程杰,高亚军,强秦.渭北旱塬小麦不同栽培模式对土壤硝态氮残留的影响[J].水土保持学报,2008,22(4):104-110.
- [12] 王俊,李凤民,宋秋华.地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J].应用生态学报,2003,14(2):205-210.
- [13] 李世清,李东方,李凤民,等.半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(5):21-29.
- [14] 晋小军,李国琴,潘荣辉.甘肃高寒阴湿地区地膜覆盖对马铃薯产量的影响[J].中国马铃薯,2004,18(4):207-210.
- [15] 伍社生,刘明月.长沙地区春马铃薯不同栽培方式比较试验[J].中国马铃薯,2006,5(20):265-269.
- [16] Wang Y J, Xie Z K, Malhi S S, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China[J]. Agri Water Manage, 2009, 96:374-382.
- [17] Zhang S, Lovdahl L, Grip H, et al. Modelling the effects of mulching and fallow cropping on water balance in the Chinese Loess Plateau[J]. Soil Tillage Res, 2007,93:283-298.
- [18] Zhou L M, Li F M, Jin S L, et al. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. Field Crops Res, 2009,113:41-47.
- [19] 房全孝,陈雨海,李全起,等.灌溉对冬小麦水分利用效率的影响研究[J].农业工程学报,2004,20(4):34-39.
- [20] 梁银丽,党廷辉,张成娥.黄土高原农田生态系统生产力研究[M].西安:陕西科学出版社,2000.
- [21] 高世铭.陇中黄土高原丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003.