

半干旱区不同覆膜时期、方式与膜色对土壤水分及马铃薯水分利用效率的影响

买自珍¹, 余萍¹, 买娟², 王勇³, 周皓蕾¹, 米治明¹, 陆俊武¹, 金学平¹

(1. 固原市农业科学研究所, 宁夏 固原 756000; 2. 宁夏回族自治区地质矿产勘查开发局, 宁夏 银川 750021;
3. 宁夏师范学院, 宁夏 固原 756000)

摘要: 在宁夏中部干旱区, 通过两年田间试验研究了不同覆膜时期、方式及膜色处理对马铃薯农田土壤水分、产量和水分利用效率的影响。结果表明: 与裸地栽培相比较, 各处理均能提高土壤水分。早春双垄全膜 0~100 cm 土壤水分含量沟内白膜 18.10% 和黑膜 19.73%, 节水 18.66 mm 和 38.46 mm, 半膜覆盖白膜 17.94% 和黑膜 16.70%, 节水 16.77 mm 和 1.89 mm; 马铃薯苗期—现蕾期—开花期—块茎生长期生育阶段, 2010—2011 年各处理 0~200 cm 土壤贮水量较裸地高, 早春白膜双垄全覆膜处理节水 39.23~40.65、24.51~31.08 mm 和 21.75~30.88 mm, 早春黑膜双垄全覆膜处理节水 56.85~20.21、37.81~ -4.72 mm 和 29.06~ -3.26 mm, 播期白膜双垄全覆膜处理节水 84.04、88.46 mm 和 58.87 mm, 播期黑膜双垄全覆膜处理节水 94.90、60.59 mm 和 71.94 mm, 早春白膜半膜平覆处理节水 45.53~ -12.25、22.95~6.28 mm 和 44.97~32.45 mm, 早春黑膜半膜平覆处理节水 -7.42~18.15、-15.83~16.53 mm 和 15.85~ -17.12 mm, 播期白膜半膜平覆处理节水 24.03、-3.79 mm 和 20.32 mm, 播期黑膜半膜平覆处理节水 -5.2、-40.42 mm 和 -3.34 mm。各处理 0~200 cm 土壤水分垂直变化, 0~40 cm 土壤水分最活跃层次, 无明显变化规律, 40~80 cm 土壤水分变化呈现出规律变化, 土壤水分含量表现为高一低—高一低, 水分蓄墒层, 80~120 cm 土层水分缺墒层, 120~200 cm 深墒稳定层。地膜栽培能提高马铃薯产量, 早春白膜双垄全覆膜模式马铃薯鲜薯产量 35 007.85 kg·hm⁻², 较裸地增产 29.31%, 降水生产效率 116.35 kg·hm⁻²·mm⁻¹, 提高 36.15%, 早春黑膜双垄全覆膜模式 33 823.75 kg·hm⁻², 增产 24.9%, 降水生产效率 105.7 kg·hm⁻²·mm⁻¹, 提高 25%。在干旱地区应推广提早覆膜、双垄全覆膜、膜色黑膜或白膜的抗旱节水栽培模式, 该模式节水、增产、生态效益明显。

关键词: 半干旱区; 覆膜模式; 水分利用效率; 马铃薯

中图分类号: S532.048; S152.7 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)01-0001-10

Effects of mulching timing, pattern and color of plastic film on soil moisture and water use efficiency of potato

MAI Zi-zhen¹, SHE Ping¹, MAI Juan², WANG Yong³, ZHOU Hao-lei¹, MI Zhi-ming¹, LU Jun-wu¹, JIN Xue-ping¹

(1. Guyuan Academy of Agriculture Sciences, Guyuan, Ningxia 756000, China;

2. Exploration & Development Bureau of Geology & Mineral Resources of Ningxia, Yingchuan, Ningxia 750021, China;

3. Ningxia Normal College, Guyuan, Ningxia 756000, China)

Abstract: In arid areas of middle Ningxia, two years of field experiments were conducted to elucidate effect of timing, pattern, and film color of plastic mulching on soil moisture, potato yield, and water use efficiency. The results showed that compared with the bare land cultivation, mulching can improve the soil moisture. For early spring double ridges mulching, the water content of 0~100 cm soil were 18.10% and 19.73% for white film and black film, respectively, storing 18.66 mm and 38.46 mm rainwater in the soil. Soil moisture of 0~200 cm depth was higher for mulching treatment during the growth stages of seedling, budding, flowering, tuber growth in 2010—2011. For example, ZBSQ stored 39.23~40.65 mm, 24.51~31.08 mm, and 21.75~30.88 mm. While ZHSQ harvested 56.85~20.21 mm,

收稿日期: 2013-01-05

基金项目: 国家科技支撑计划“西北干旱区现代马铃薯种薯产业发展关键技术研究及示范——马铃薯种薯节水高效生产关键技术研究及集成示范”课题(2009BADCSB05); 宁夏回族自治区科技计划“宁夏干旱半干旱区现代节水高效农业关键技术创新与示范”——抗旱节水优良植物优化布局与抗旱节水栽培技术集成创新研究”课题(2011ZDN04)

作者简介: 买自珍(1966—), 男, 宁夏固原人, 副研究员, 主要从事旱农节水技术研究与示范。E-mail: maizh@163.com。

通讯作者: 买娟(1990—), 女, 宁夏固原人, 研究实习生, 主要从事地质调查及土壤水分监测工作。

37.81 ~ -4.72 mm and 29.06 ~ -3.26 mm. In addition, mulching effect was more marked in the 0 ~ 40 cm soil profile and 40 ~ 80 cm and 80 ~ 120 cm. Mulching showed significant effect on potato yield. Early spring mulching with double ridges covered by white film produced 35 007.85 kg·hm⁻², being 29.31% higher than that of the bare land, while it had a rainwater use efficiency of 116.35 kg·hm⁻²·mm⁻¹, increased by 36.15%. Early spring mulching with black film had a yield of 33 823.75 kg·hm⁻², increased by 24.9%, and its rainwater use efficiency was 105.7 kg·hm⁻²·mm⁻¹, increased by 25%. These two patterns are suggested for potato production in middle Ningxia.

Keywords: the Northwest arid region; plastic film mulching; soil water use efficiency; potato

西北地区干旱缺水,水是限制该地区作物产量提高的关键因子。该区域以旱地为主,旱地占耕地面积的 85%左右,自然降水是旱地土壤水分的主要来源,降水利用程度的高低受着耕作栽培措施的直接影响,研究旱农区抑制土壤水分蒸发、保墒,提高降水有效利用的技术是旱农区研究的热点问题。国内较多学者进行了地膜覆盖技术研究,而双垄全覆膜栽培模式是田间垄作和地膜覆盖径流技术相结合的一种微集水旱作栽培技术,具有集水、保墒,增加产量,提高降水利用效率^[1-6]。为此,2010—2011年在固原旱地进行了马铃薯不同地膜覆盖栽培模式试验研究,探索提高干旱地区降水资源高效利用栽培模式。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2010—2011 年在宁夏固原旱地进行,土

壤黑垆土,海拔 1 750 m,年平均气温 6.5℃ ~ 7.5℃,土壤容重 1.21 g·cm⁻³,田间持水量 21% ~ 24%。试验期间马铃薯生育期降雨量分布见表 1。种植制度一年一熟。

1.2 试验设计与农艺操作

试验设 9 个处理,随机区组排列,重复三次,小区长 7 m,宽 3.3 m 或 3 m,面积不等,双垄全覆膜 23.1 m²,半膜平覆及对照 21 m²,种植密度 3 229 株·667m⁻²。以马铃薯冀张薯 8 号为供试材料,地膜幅宽 120 cm,农艺技术要点及操作方法见表 2。试验于 5 月 1 日播种,用铁制的口径 10 ~ 12 cm 打孔器打孔点种,播深 16 ~ 18 cm,9 月下旬收获,生育期 100 d 左右。施有机肥 45 000 kg·hm⁻²,无机肥 N 225.0 kg·hm⁻²,P₂O₅ 150 kg·hm⁻²,K₂O 270 kg·hm⁻²,有机肥全部基施,无机肥 2/3 基施,1/3 追施。

表 1 马铃薯生育期 3—9 月降雨量分布

Table 1 Rainfall during the potato growth period from March to September

年份 Year	年型 Type of the year	3 月 March /mm	4 月 April /mm	3—4 月 From March to April		5 月 May /mm	6 月 June /mm	5—6 月 From May to June		7 月 July /mm	8 月 August /mm	9 月 September /mm	7—9 月 From July to September		全年 降雨量 Annual rainfall /mm
				降雨量 Rainfall /mm	比例 Proportion /%			降雨量 Rainfall /mm	比例 Proportion /%				降雨量 Rainfall /mm	比例 Proportion /%	
2005— 2009		11.4	12.9	24.3	6.6	31.0	35.4	66.4	18.0	56.2	96.7	73.9	226.8	61.7	367.9
2010	丰水年 Wet year	12.6	33.0	45.6	10.2	63.3	31.2	94.5	21.2	116.3	57.9	66.3	240.5	54.1	444.9
2011	平水年 Normal year	3.1	4.6	7.7	2.2	25.5	28.6	54.1	15.5	70.4	84.6	95.6	250.6	71.8	349.0

1.3 水量平衡计算

土壤含水量测定采用烘干称重法,土层深度 0 ~ 200 cm,20 cm 为 1 个土层,在温度 105℃ 条件下烘 8 h,用感量 0.001 的电子天平称重。

1.3.1 蒸散量的计算 采用土壤水分平衡模型计算作物蒸散量,计算公式为:

$$ET_{12} = 10 \sum_{i=1}^n r_i H_i (w_{i1} - w_{i2}) + P + I + F$$

式中,ET₁₂ 为阶段耗水量(mm);i 为土壤层次深度;n 为土壤层次数;r_i 为第 i 层土壤容重(g·cm⁻³);H_i 为第 i 层土壤厚度(cm);w_{i1} 为第 i 层土壤测定时段初的含水率;w_{i2} 为第 i 层土壤测定时段末的含水率;P 为测定时段内降水量;I 为测定时段内地表水分流入量,试验小区未产生径流量,故为零不计;F 为地下水上升补给量,一般旱作区为零不计。

表 2 试验处理
Table 2 Experimental treatments

代号 Code name	处理 Treatment	操作方法 Operation method
ZBSQ	早春白膜双垄全覆膜 Early spring mulching with double ridges covered by white film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 3 月中下旬,土壤解冻后,人工起垄,垄距 110 cm,大垄宽 70 cm,垄高 10 cm,小垄宽 40 cm,垄高 15 cm,大小双垄白色地膜覆盖。大垄两侧穴种,行距 55 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in middle to late March when the soil thawed, ridge and furrow system was constructed, with ridge distance being 110 cm. the big ridge was 70 cm wide and 10 cm high, while the small one is 40 cm wide and 15 cm high. White plastic film was used. Seeds were sown along the side of the ridge, with a row space of 55 cm.
ZHSQ	早春黑膜双垄全覆膜 Early spring mulching with double ridges covered by black film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 3 月中下旬,土壤解冻后,人工起垄,垄距 110 cm,大垄宽 70 cm,垄高 10 cm,小垄宽 40 cm,垄高 15 cm,大小双垄黑色地膜覆盖。大垄两侧穴种,行距 55 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in middle to late March when the soil thawed, ridge and furrow system was constructed, with ridge distance being 110 cm. the big ridge was 70 cm wide and 10 cm high, while the small one is 40 cm wide and 15 cm high. Black plastic film was used. Seeds were sown along the side of the ridge, with a row space of 55 cm.
BBSQ	播期白膜双垄全覆膜 Sowing mulching with double ridges covered by white film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 5 月上旬,人工起垄,垄距 110 cm,大垄宽 70 cm,垄高 10 cm,小垄宽 40 cm,垄高 15 cm,大小双垄白色地膜覆盖。大垄两侧穴种,行距 55 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in early May, ridge and furrow system was constructed, with ridge distance being 110 cm. the big ridge was 70 cm wide and 10 cm high, while the small one is 40 cm wide and 15 cm high. White plastic film was used. Seeds were sown along the side of the ridge, with a row space of 55 cm.
BHSQ	播期黑膜双垄全覆膜 Sowing mulching with double ridges covered by black film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 5 月上旬,人工起垄,垄距 110 cm,大垄宽 70 cm,垄高 10 cm,小垄宽 40 cm,垄高 15 cm,大小双垄黑色地膜覆盖。大垄两侧穴种,行距 55 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in early May, ridge and furrow system was constructed, with ridge distance being 110 cm. the big ridge was 70 cm wide and 10 cm high, while the small one is 40 cm wide and 15 cm high. Black plastic film was used. Seeds were sown along the side of the ridge, with a row space of 55 cm.
ZBBP	早春白膜半膜平覆 Early spring mulching half covered by white film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 3 月中下旬,土壤解冻后,人工平覆白色地膜,平作穴种,行距 50 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in middle to late March when the soil thawed, the flatten soil was mulched by white plastic film, with a row space of 50 cm.
ZHBP	早春黑膜半膜平覆 Early spring mulching half covered by black film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 3 月中下旬,土壤解冻后,人工平覆黑色地膜,平作穴种,行距 50 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in middle to late March when the soil thawed, the flatten soil was mulched by black plastic film, with a row space of 50 cm.
BBBP	播期白膜半膜平覆 Sowing mulching half covered by white film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 5 月上旬,人工平覆白色地膜,平作穴种,行距 50 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in early May, the flatten soil was mulched by white plastic film, with a row space of 50 cm.
BHBP	播期黑膜半膜平覆 Sowing mulching half covered by black film	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 5 月上旬,人工平覆黑色地膜,平作穴种,行距 50 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in early May, the flatten soil was mulched by white plastic film, with a row space of 50 cm.
CK	裸地种植 No mulching	前作物收获后及时翻耕,接纳降水,耙耱保墒。翌年 5 月上旬,平作穴种,行距 50 cm。 After harvesting, soil was flattened and ploughed to conserve rainwater in early May, the flatten soil was planted without mulching and with a row space of 55 cm.

1.3.2 土壤贮水量 土壤贮水量是指一定土层厚度的土壤总含水量,根据不同土层的土壤容重、土层厚度和土壤含水率换算出不同土层的土壤贮水量(mm),其总和为 200 cm 土壤贮水量(mm),以水层深度表示(mm)。

$$W = \sum_{i=1}^n w_i r H_i \times 10$$

式中, W 为土壤总贮水量(mm), w_i 为第 i 层土壤含

水率(%), r 为土壤平均容重($g \cdot cm^{-3}$), H 为土层厚度(cm)。

1.4 作物阶段耗水量

$$\Delta SWS = W_{i1} - W_{i2} \quad ET = \Delta SWS + P$$

式中, ΔSWS 为作物生育阶段始期和末期时土壤贮水量的变化量(mm); ET 为作物生育阶段的蒸散量(mm); W_{i1} 为作物生育阶段开始时 2 m 土层土壤贮水量(mm), W_{i2} 为该生育阶段末 2 m 土层土壤贮水

量(mm); P 为该阶段的降水量(mm)。

1.5 水分生产效率

$$WUE = \frac{y_d}{ET}$$

式中, WUE 为水分生产效率($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$), y_d 为单位面积马铃薯鲜薯经济产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), ET 为同面积薯田蒸散量(mm)。

1.6 数据统计及分析

试验数据用 Microsoft Excel 2003 制图, 用 DPS 7.05 处理软件进行样本方差分析及 Duncan's 新复极差检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜时期、方式与膜色薯田土壤水分变化

不同覆膜方式、时期及膜色处理不同降水年份条件下薯田 0~100 cm 剖面土壤水分动态变化如图

1a、图 1b。图 1a 所示 2010 年丰水年, 4—6 月降水量 127.5 mm, 7—9 月降水量 240.5 mm, 早春土壤消融期覆膜土壤水分明显高于裸地, 马铃薯自苗期至块茎生长期双垄全覆膜土壤水分明显高于半膜覆盖, 半膜覆盖高于裸地, 各处理土壤水分变化差异明显。图 1b 所示 2011 年平水年, 4—6 月降水量 58.7 mm, 7—9 月降水量 250.6 mm, 各处理土壤水分变化差异明显。且 2010 年各处理土壤水分变化差异较 2011 年明显。

2.1.1 同期同膜色不同覆膜方式土壤水分变化

2010 年丰水年, 早春白膜双垄全覆膜 0~100 cm 土层土壤含水量变幅 15.3%~20.9%, 平均含水量 18.6%, 较半膜覆盖同层土壤含水量 15.8%~19.0%, 平均含水量 17.6%, 提高 1.0 个百分点; 早春黑膜双垄全覆膜同层土壤含水量 15.5%~21.9%, 平均含水量 18.8%, 较半膜覆盖同层含水量

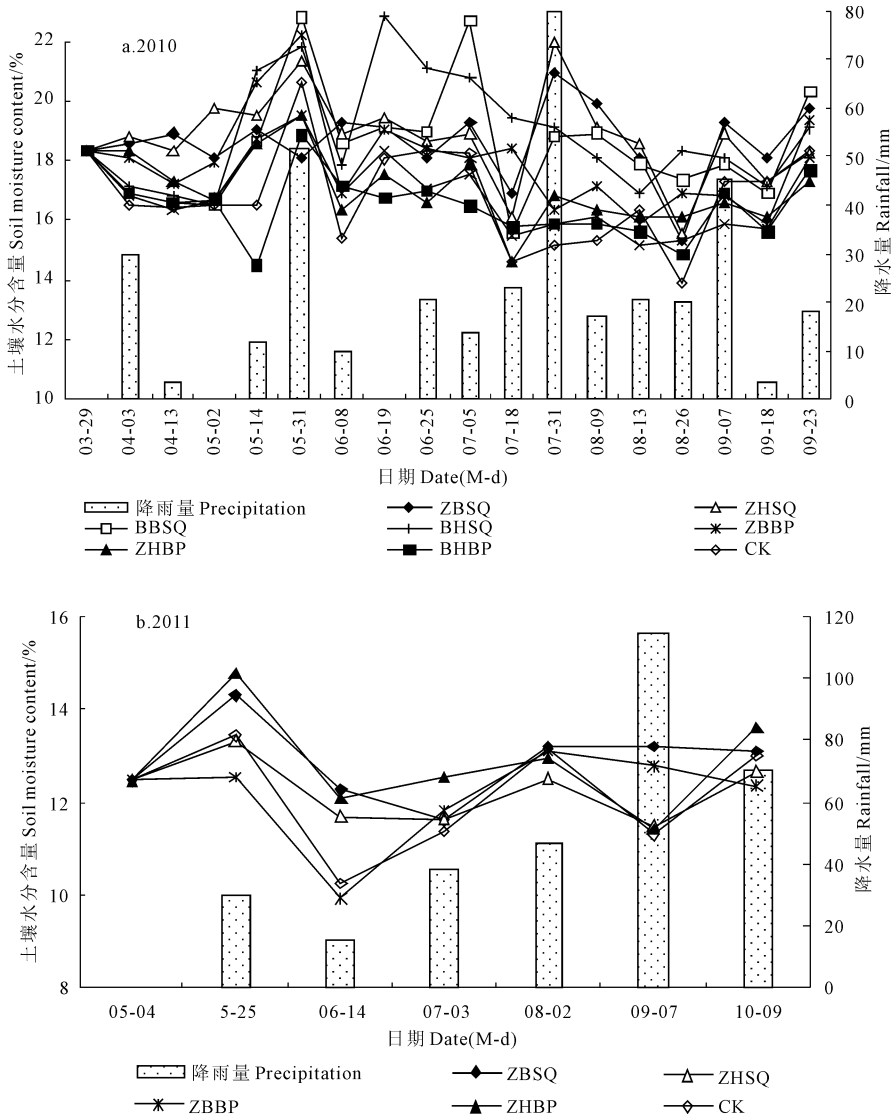


图 1 2010—2011 年马铃薯不同栽培模式薯田 0~100 cm 土层土壤水分动态变化

Fig. 1 Soil moisture dynamic change in potato fields of different cultivation pattern in 2010—2011

14.6%~19.5%,平均含水量16.9%,提高1.9个百分点。播期白膜双垄全覆膜同层土壤含水量15.6%~19.7%,平均含水量18.2%,较半膜覆盖同层土壤含水量15.1%~19.5%,平均含水量16.8%,提高1.4个百分点;播期黑膜双垄全覆膜同层土壤含水量16.5%~19.8%,平均含水量18.3%,较半膜覆盖同层土壤含水量14.8%~18.8%,平均含水量16.6%,提高1.7个百分点。

2.1.2 同期同覆膜方式不同膜色土壤水分变化

早春双垄全覆黑膜0~100 cm土层土壤平均含水量18.8%,较白膜同层土壤含水量18.6%,提高0.2个百分点;早春半膜白膜同层土壤平均含水量17.6%,较黑膜土壤含水量16.9%,提高0.7个百分点。播期双垄全覆黑膜同层土壤平均含水量18.3%,较白膜土壤含水量18.62%,提高0.1个百分点;半膜白膜同层土壤平均含水量16.8%,较黑膜土壤含水量16.6%,提高0.2个百分点。

2.1.3 同覆膜方式同膜色不同覆膜时期土壤水分变化

早春白膜双垄全覆膜0~100 cm土层土壤含水量18.6%,较播期同膜同层土壤含水量18.2%,提高0.4个百分点,早春黑膜双垄全覆膜同层土壤含水量18.8%,较播期同方式土壤含水量18.3%,提高0.5个百分点;早春白膜半膜同层土壤含水量17.6%,较播期土壤含水量16.8%,提高0.8个百分点,早春黑膜半膜同层土壤含水量16.9%,较播期土壤含水量16.6%,期提高0.3个百分点。

2.1.4 同覆膜期不同覆膜方式、膜色土壤水分变化

早春白膜双垄全覆膜0~100 cm土层土壤含水量18.6%,较同期黑膜半覆膜同层土壤含水量16.9%,提高1.7个百分点,早春黑膜双垄全覆膜0~100 cm土层土壤含水量18.8%,较同期白膜半膜同层土壤含水量17.6%,提高0.8个百分点。

2.1.5 不同覆膜方式、时期与膜色土壤水分变化

早春白膜双垄全覆膜0~100 cm土层土壤含水量18.6%,较同膜播期半覆膜同层土壤含水量16.8%,提高1.8个百分点,较播期黑膜半膜土壤含水量16.6%,提高2.0个百分点;早春黑膜双垄全覆膜0~100 cm土层土壤含水量18.8%,较播期同膜半膜同层土壤含水量16.6%,提高2.2个百分点,较播期半膜白膜同层土壤含水量16.8%,提高2.0个百分点,较同期白膜半膜覆盖土壤含水量18.8%,提高0.8个百分点。

2.2 不同覆膜时期、方式与膜色土壤水分垂直变化

2.2.1 土壤消融期早春覆膜水分变化 2010年早春覆膜后4月29日降雨29.5 mm情况下,5月2日

测定各处理0~100 cm剖面土壤水分含量,从表3看出,早春双垄全覆膜垄沟0~100 cm土层土壤含水量白膜18.10%、黑膜19.73%,较裸地提高1.56和3.19个百分点,失水量少18.66 mm和38.46 mm;0~40 cm土层土壤水分变化差异较大,白膜17.41%、黑膜20.14%,较裸地提高4.59和7.32个百分点,土壤水分蒸发失水量少22.12 mm和35.29 mm。半膜覆盖0~100 cm土层土壤含水量白膜17.94%、黑膜16.70%,提高1.40和0.16个百分点,失水量少16.77 mm和1.89 mm;0~40 cm土层土壤含水量16.58%和14.18%,提高3.76和1.36个百分点,失水量少18.10 mm和6.57 mm。足以证明,提早覆膜可减少土壤水分蒸发,起到提墒保墒作用。

2.2.2 不同覆膜时期、方式及膜色马铃薯各生育阶段

0~200 cm土壤水分垂直变化 覆膜时期、方式及膜色处理薯田苗期至薯收获期0~200 cm土壤剖面水分垂直变化,如图2中a、b、c、d、e、f所示,各处理土壤贮水量随着马铃薯生育进程推进呈高一低一高变化趋势,双垄全膜覆盖显著高于半膜覆盖,半膜覆盖与裸地差异不明显,且不同降水年份差异也明显,丰水年半膜覆盖低于裸地趋势,这也与降水经膜面集流膜外侧蒸发的缘故有关。马铃薯现蕾期,a图2010丰水年(6月19日),ZBSQ、ZHSQ、BBSQ和BHSQ处理土壤贮水量分别较裸地高39.23、56.85、84.04 mm和94.90 mm,ZBBP和BBBP处理较裸地高45.53 mm和24.03 mm,ZHBP和BHBP较裸地低7.42 mm和5.2 mm;b图2011平水年(6月14日),ZBSQ、ZHSQ处理较裸地高40.65 mm和20.21 mm,ZBBP处理低12.25 mm,ZHBP处理高18.15 mm。马铃薯开花期,c图2010丰水年(7月5日),ZBSQ、ZHSQ、BBSQ和BHSQ处理分别较裸地高24.51、37.81、88.46 mm和60.59 mm,除ZBBP处理较裸地高22.95 mm,ZHBP、BHBP和BBBP较裸地低15.83、40.42 mm和3.79 mm;d图2011平水年(7月3日),ZBSQ和ZHBP处理较裸地高31.08 mm和16.53 mm,ZHSQ和ZBBP处理较裸地低4.72 mm和6.28 mm。块茎快速生长期,e图2010丰水年(8月26日),ZBSQ、ZHSQ、BBSQ和BHSQ处理分别较裸地高21.75、29.06、58.87 mm和71.94 mm,除BHBP处理较裸地低3.34 mm,ZBBP、ZHBP和BBBP较裸地高44.97、15.85 mm和20.32 mm;f图2011平水年(9月7日),ZBSQ和ZBBP处理较裸地高30.88 mm和32.45 mm,ZHSQ和ZHBP处理较裸地低3.26 mm和17.12 mm。

表 3 早春覆膜与播种时裸地土壤水分变化

Table 3 Soil moisture of early spring mulching

土层深度 Depth of soil /cm	土壤含水量 Soil water content/%												裸地 No mulching (CK)
	白膜双垄全覆膜 Double ridges covered by white film				黑膜双垄全覆膜 Double ridges covered by black film				白膜半 膜平覆 White film half covered	较 CK 增减 Compared with CK	黑膜半 膜平覆 Black film half covered	较 CK 增减 Compared with CK	
	垄中部 Central ridge	较 CK 增减 Compared with CK	垄沟 Furrow	较 CK 增减 Compared with CK	垄中部 Central ridge	较 CK 增减 Compared with CK	垄沟 Furrow	较 CK 增减 Compared with CK					
0~10	9.55	3.37	15.5	9.32	12.61	6.43	17.01	10.83	8.9	2.72	11.8	5.62	6.18
10~20	16.41	0.41	16.41	0.41	15.42	9.24	20.33	4.33	17.90	1.90	14.73	-1.27	16.00
20~40	12.87	-1.67	18.86	4.32	16.26	10.08	21.61	7.07	19.75	5.21	15.10	0.56	14.54
40~60	19.14	2.67	16.96	0.49	19.27	13.09	22.45	5.98	19.25	2.78	17.39	0.92	16.47
60~80	20.04	-1.03	19.25	-1.82	20.83	14.65	18.11	-2.96	20.87	-0.20	17.54	-3.53	21.07
80~100	18.92	-0.63	19.45	-0.10	17.4	11.22	17.86	-1.69	16.42	-3.13	20.22	0.67	19.55
0~40	12.92	0.10	17.41	4.59	15.14	8.96	20.14	7.32	16.58	3.76	14.18	1.36	12.82
0~100	16.79	0.25	18.10	1.56	17.56	11.38	19.73	3.19	17.94	1.40	16.70	0.16	16.54
土层深度 Depth of soil /cm	贮水量 Water stored/mm												裸地 No mulching (CK)
	白膜双垄全覆膜 Double ridges covered by white film				黑膜双垄全覆膜 Double ridges covered by black film				白膜半 膜平覆 White film half covered	较 CK 增减 Compared with CK	黑膜半 膜平覆 Black film half covered	较 CK 增减 Compared with CK	
	垄中部 Central ridge	较 CK 增减 Compared with CK	垄沟 Furrow	较 CK 增减 Compared with CK	垄中部 Central ridge	较 CK 增减 Compared with CK	垄沟 Furrow	较 CK 增减 Compared with CK					
0~40	62.25	0.53	83.84	22.12	72.89	11.17	97.01	35.29	79.82	18.10	68.29	6.57	61.72
0~100	202.16	2.95	217.87	18.66	211.36	12.15	237.67	38.46	215.98	16.77	201.10	1.89	199.21

(1) 马铃薯苗期至现蕾期土壤水分垂直变化(6月19日)

0~40 cm 剖面土壤贮水量 ZBSQ、ZHSQ、BBSQ 和 BHSQ 处理分别较裸地高 11.73、8.49、17.44 mm 和 22.60 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 4.3、-11.84、-4.05 mm 和 -6.68 mm; 40~80 cm 剖面土壤贮水量依次较裸地高 8.83、9.49、19.82、29.67、5.89、5.59、-5.17 mm 和 12.24 mm; 80~120 cm 剖面土壤贮水量依次较裸地高 3.82、13.38、15.94、22.10、18.48、14.02、9.3 mm 和 10.05 mm; 120~200 cm 剖面土壤贮水量较裸地高 14.85、25.49、30.84、20.53、16.86、-15.19、-5.28 mm 和 8.42 mm。

(2) 马铃薯现蕾至开花期土壤水分垂直变化(6月25日-7月5日)

0~40 cm 剖面土壤贮水量 ZBSQ、ZHSQ、BBSQ 和 BHSQ 处理分别较裸地高 5.48~4.01、4.98~5.7、4.73~16.87 mm 和 23.04~17.02 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 -0.7~-4.19、-11.75~-0.08、-3.75~-9.87 mm 和 -9.2~-9.55 mm; 40~80 cm 剖面土壤贮水量依次较裸地高 3.14~11.19、5.16~5.31、10.83~31.17 mm 和 10.61~10.42 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 2.71~-2.16、-4.34~3.62、-7.25~-8.02 mm 和 -5.20~-1.75 mm; 80~120 cm 剖面土壤贮水量依

次较裸地 -21.03~-22.30、-10.18~13.55、-6.72~0.03 mm 和 -0.75~-3.36 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 -2.28~-2.72、-9.19~-20.57、-12.68~-20.14 mm 和 -4.86~-7.52 mm; 120~200 cm 剖面土壤贮水量依次较裸地 -15.90~31.61、2.48~40.35、2.83~40.39 mm 和 3.36~36.51 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 -6.37~32.02、-30.05~1.20、-43.79~-2.39 mm 和 -21.69~15.03 mm。

(3) 马铃薯块茎生长期土壤水分垂直变化(8月26日-9月23日)

0~40 cm 剖面土壤贮水量 ZBSQ、ZHSQ、BBSQ 和 BHSQ 处理分别较裸地高 3.25~4.78、12.59~8.27、14.69~12.16 mm 和 19.82~13.80 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 13.06~7.72、7.98~-4.86、-1.82~-7.37 mm 和 -1.1~-9.27 mm; 40~80 cm 剖面土壤贮水量依次较裸地高 28.83~6.22、25.60~-3.07、37.94~8.36 mm 和 42.34~0.05 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 33.29~0.62、27.13~-3.10、27.01~0.76 mm 和 26.67~4.84 mm; 80~120 cm 剖面土壤贮水量依次较裸地高 -19.26~3.75、-26.53~10.66、-13.46~2.37 mm 和 -10.13~-9.21 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 -9.19~3.51、-12.31~-4.65、-15.65~

- 2.06 mm 和 - 10.34 ~ 1.67 mm; 120 ~ 200 cm 剖面土壤贮水量依次较裸地高 8.93 ~ 11.72、17.40 ~ 10.52、19.70 ~ 14.42 mm 和 ~ 9.83 mm, ZBBP、ZHBP、BHBP 和 BBBP 为 7.81 ~ 7.06、- 6.95 ~ 8.72、- 12.88 ~ - 15.20 mm 和 - 5.09 ~ 0.76 mm。综上所述

述土壤水分垂直变化规律, 0 ~ 40 cm 土壤水分最活跃层次, 无明显变化规律, 40 ~ 80 cm 土层土壤水分变化呈现出规律变化, 土壤水分含量表现为高一低一高一低, 水分蓄墒层, 80 ~ 120 cm 水分缺墒层, 120 ~ 200 cm 深墒稳定层。

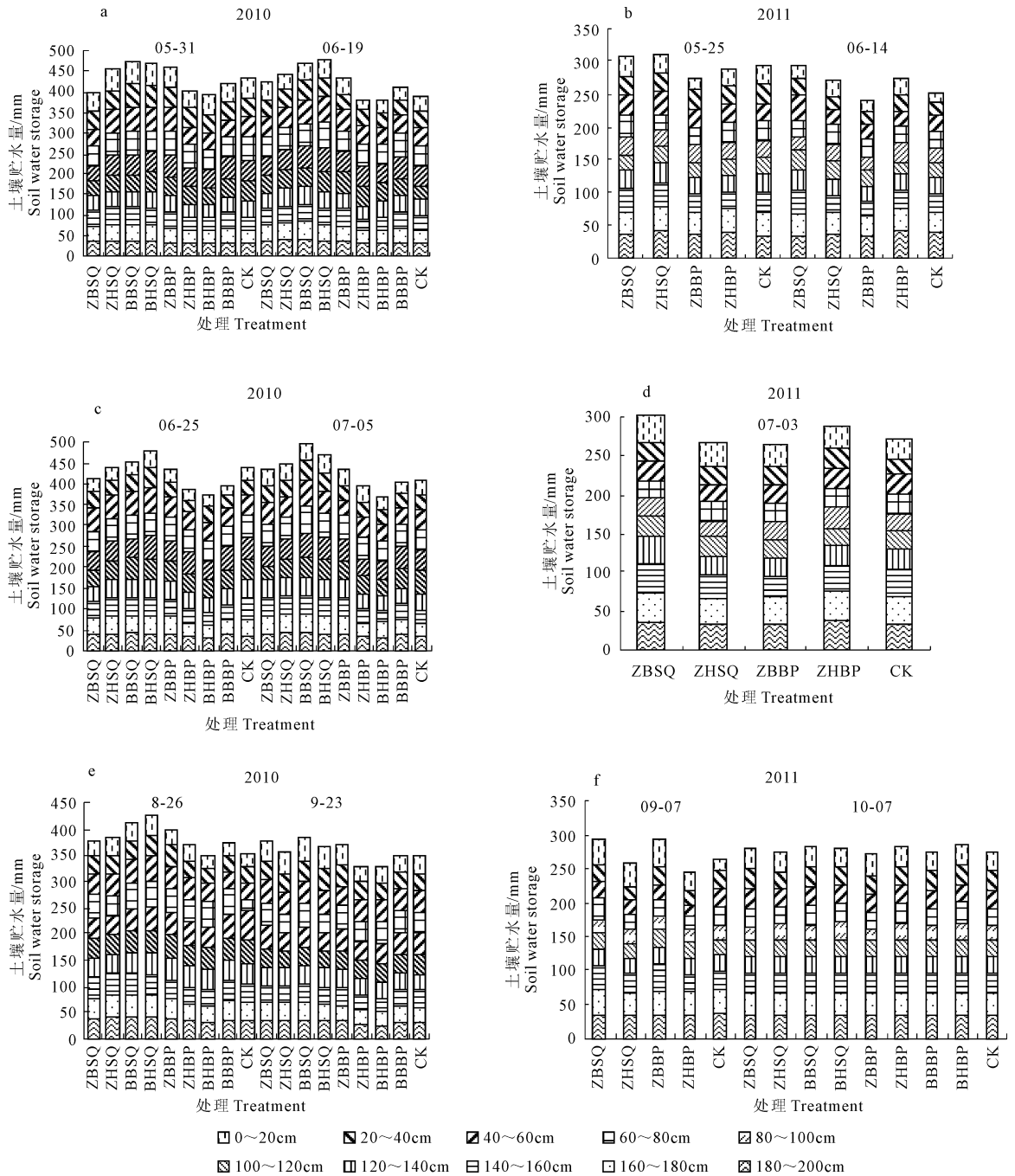


图 2 2010—2011 年马铃薯不同栽培模式 0 ~ 200 cm 土壤水分垂直变化

Fig. 2 Soil moisture vertical change in 0 ~ 200 cm soil layer of different cultivation pattern in 2010—2011

2.3 不同覆膜时期、方式与膜色马铃薯各生育阶段农田土壤水分消耗量的变化

薯田土壤水分耗散以土壤蒸发和植株蒸腾两种形式进行, 不同覆膜栽培措施影响土壤水分的利用,

表 4 列出马铃薯各生育阶段土壤水分消耗量的变化。马铃薯出苗至现蕾阶段, 植株小, 土壤水分蒸发以植株棵间蒸发为主, 土壤水分消耗少, 2010 年, 双垄全膜覆盖不同覆膜时期、膜色处理土壤水分消耗

表4 马铃薯各生育阶段土壤水分变化
Table 4 Potato soil moisture changes in growth stage

年份 Year	处理 Treatment	播种—出苗 Sowing to seedling				出苗—现蕾 Seedling to squaring			现蕾—开花 Squaring to flowering			块茎形成—快速生长 Tuber formation to rapid growth			淀粉积累—收获 Accumulation of starch to harvest		
		播前土壤 水分 Soil moisture before sowing/mm	土壤贮 水量 Water stored in soil /mm	土壤水 分消耗 Soil water consumption /mm	耗水 量 Water consumption /mm	土壤贮 水量 Water stored in soil /mm	土壤水 分消耗 Soil water consumption /mm	耗水 量 Water consumption /mm	土壤贮 水量 Water stored in soil /mm	土壤水 分消耗 Soil water consumption /mm	耗水 量 Water consumption /mm	土壤贮 水量 Water stored in soil /mm	土壤水 分消耗 Soil water consumption /mm	耗水 量 Water consumption /mm	土壤贮 水量 Water stored in soil /mm	土壤水 分消耗 Soil water consumption /mm	耗水 量 Water consumption /mm
2010	ZBSQ	389.1	400.5	-11.4	51.9	410.4	-9.9	0.0	433.8	-23.4	10.8	376.9	56.9	217.6	377.0	-0.1	66.2
	ZHSQ	399.3	456.2	-56.9	6.4	441.1	15.1	25.0	447.0	-5.9	28.3	384.2	62.8	223.5	357.4	26.9	93.2
	BBSQ	377.9	473.2	-95.3	-32.0	450.4	22.8	32.7	497.7	-47.3	-13.1	414.1	83.6	244.3	384.9	29.2	95.5
	BHSQ	360.9	467.7	-106.8	-43.5	474.9	-7.2	2.7	469.8	5.1	39.3	427.2	42.6	203.3	366.8	60.3	126.6
	ZHBP	362.8	404.0	-41.2	22.1	383.4	20.6	30.5	393.4	-10.0	24.2	371.1	22.3	183.0	331.0	40.1	106.4
	ZBBP	377.7	462.4	-84.7	-21.4	432.0	30.4	40.3	432.2	-0.2	34.0	400.2	32.0	192.7	371.2	28.9	95.2
	BHBP	362.8	395.2	-32.4	30.9	371.4	23.8	33.7	368.8	2.6	36.8	351.9	16.9	177.6	328.4	23.4	89.7
	BBBP	360.9	423.5	-62.6	0.7	397.4	26.1	36.0	374.0	23.4	57.6	375.5	-1.5	159.2	350.3	25.2	91.5
	裸地 CK Bare land	360.9	432.2	-71.3	-8.0	438.7	-6.5	3.4	409.2	29.5	63.7	355.2	54.0	214.7	352.3	2.9	69.2
降水量/mm Precipitation				63.3			9.9			34.2			160.7			66.3	
2011	ZBSQ	246.8	306.0	-59.2	-33.9	258.3	47.7	62.9	291.9	-33.6	6.0	293.2	-1.3	159.1	300.5	-7.3	62.9
	ZHSQ	246.8	309.4	-62.6	-37.3	232.5	76.9	92.1	246.7	-14.2	25.4	259.0	-12.3	148.1	267.5	-8.5	61.7
	ZBBP	246.8	275.4	-28.6	-3.3	211.7	63.7	78.9	281.2	-69.5	-29.9	294.8	-13.6	146.8	264.1	30.7	100.9
	ZHBP	246.8	284.0	-37.2	-11.9	273.4	10.6	25.8	318.1	-44.7	-5.1	261.0	57.1	217.5	290.2	-29.2	41.0
	裸地 CK Bare land	246.8	292.9	-46.1	-20.8	252.6	40.3	55.5	270.8	-18.2	21.4	262.3	8.5	168.9	271.1	-8.8	61.4
降水量/mm Precipitation				25.3			15.2			39.6			160.4			70.2	

量 -9.9 ~ 22.8 mm,耗水量 0 ~ 32.7 mm,半膜覆盖土壤水分消耗量 20.6 ~ 30.4 mm,耗水量 30.5 ~ 40.3 mm;2011 年,双垄全膜覆盖不同覆膜时期、膜色处理土壤水分消耗量 47.7 ~ 76.9 mm,耗水量 62.9 ~ 92.1 mm;半膜覆盖土壤水分消耗量 10.6 ~ 63.7 mm,耗水量 25.8 ~ 78.9 mm。马铃薯现蕾后,植株生长进入快速阶段,至开花期,植株茎叶繁茂,地上部分同化物质达到最大值,叶面积增大,地下匍匐茎开始膨大形成块茎,蒸发蒸腾强度增大,土壤水分消耗增多,此阶段是马铃薯需水临界期。2010 年,双垄全膜覆盖不同覆膜时期、膜色处理土壤水分消耗量 -47.3 ~ 5.1 mm,耗水量 -13.1 ~ 39.2 mm,半膜覆盖土壤水分消耗量 -10.0 ~ 23.4 mm,耗水量 24.2 ~ 57.6 mm;2011 年,双垄全膜覆盖不同覆膜时期、膜色处理土壤水分消耗量 -14.2 ~ -33.6 mm,耗水量 6.0 ~ 25.4 mm,半膜覆盖土壤水分消耗量 -44.7 ~ -69.5 mm,耗水量 -5.1 ~ -29.9 mm。开花至块茎

形成期营养生长和块茎生长同步进行,植株蒸发蒸腾强度大。2010 年,双垄全膜覆盖处理土壤水分消耗量 42.6 ~ 83.6 mm,耗水量 203.3 ~ 244.3 mm,半膜覆盖土壤水分消耗量 -1.5 ~ 32.0 mm,耗水量 159.2 ~ 192.7 mm;2011 年,双垄全膜覆盖处理土壤水分消耗量 -1.3 ~ -12.3 mm,耗水量 148.1 ~ 159.1 mm;半膜覆盖土壤水分消耗量 -13.6 ~ 57.1 mm,耗水量 146.8 ~ 217.5 mm。马铃薯快速膨大淀粉积累期,叶老化脱落,叶片蒸发蒸腾强度降低,土壤水分消耗量减少,茎叶同化积累的干物质向块茎输送,块茎积累淀粉逐渐变成熟,此阶段耗水量较少。2010 年,双垄全膜覆盖处理土壤水分消耗量 -0.1 ~ 60.3 mm,耗水量 66.2 ~ 126.6 mm;半膜覆盖土壤水分消耗量 23.4 ~ 40.1 mm,耗水量 89.7 ~ 106.4 mm;2011 年,双垄全膜覆盖处理土壤水分消耗量 -7.3 ~ -8.5 mm,耗水量 61.7 ~ 62.9 mm;半膜覆盖土壤水分消耗量 -29.2 ~ 30.7 mm,耗水量 41.0 ~ 100.9 mm。

表 5 不同覆膜栽培模式对马铃薯产量、水分利用效率的影响

Table 5 Effect of plastic film mulching on potato yield and water use efficiency

处理 Treatment	年份 Year	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	播种土 壤水分 Soil moisture at sowing/mm	当季作物残 留土壤水分 Residue soil moisture/mm	降雨量 Rainfall /mm	耗水量 Water consumption /mm	降水生产效率 Rainfall production efficiency /(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	较 CK 提高 Compared with CK /%
ZBSQ	2010	30772.9	360.9	350.4	334.4	344.9	89.2	57.3
	2011	39242.8	246.8	284.1	310.7	273.4	143.5	15.0
	平均 Average	35007.8	303.9	317.3	322.6	309.2	116.4	36.2
ZHSQ	2010	31657.2	377.7	333.7	334.4	378.4	83.7	47.6
	2011	35990.3	246.8	275.6	310.7	281.9	127.7	2.4
	平均 Average	33823.7	312.3	304.7	322.6	330.2	105.7	25.0
BBSQ	2010	22107.0	360.9	357.4	334.4	337.9	65.4	15.3
	2011	38400.2	246.8	280.1	310.7	277.4	138.4	10.9
	平均 Average	30253.6	303.9	318.8	322.6	307.7	101.9	13.1
BHSQ	2010	24406.1	377.9	384.9	334.4	327.4	74.5	31.3
	2011	35182.1	246.8	278.8	310.7	278.7	126.2	1.2
	平均 Average	29794.1	312.4	331.9	322.6	303.1	100.4	16.3
ZBBP	2010	25290.4	389.1	377.0	334.4	346.5	72.9	28.6
	2011	36466.5	246.8	272.2	310.7	285.3	127.8	2.5
	平均 Average	30878.4	318.0	324.6	322.6	315.9	100.4	15.6
ZHBP	2010	27943.2	362.8	331	334.4	366.2	76.3	34.6
	2011	37216.8	246.8	283.7	310.7	273.8	135.9	8.9
	平均 Average	32580.0	304.8	307.4	322.6	320.0	106.1	21.8
BBBP	2010	22991.3	399.3	357.4	334.4	376.3	61.1	7.7
	2011	36495.3	246.8	275.5	310.7	282	129.4	3.7
	平均 Average	29743.3	323.1	316.5	322.6	329.2	95.3	5.7
BHBP	2010	24759.8	362.8	328.5	334.4	368.7	67.2	18.5
	2011	37635.3	246.8	283.9	310.7	273.6	137.6	10.3
	平均 Average	31197.5	304.8	306.2	322.6	321.2	102.4	14.4
CK	2010	19454.2	360.9	352.3	334.4	343.0	56.7	
	2011	34691.5	246.8	279.2	310.7	278.3	124.7	
	平均	27072.8	303.9	315.8	322.6	310.7	90.7	

2.4 不同覆膜时期、方式及膜色马铃薯产量及水分生产效率的变化

两年试验结果表明:覆膜能显著提高马铃薯鲜薯产量(表 5),早春白膜双垄全覆膜模式马铃薯鲜薯产量 $35\ 007.8\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较裸地增产 29.31%,降水生产效率 $116.35\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$,提高 36.15%,早春黑膜双垄全覆膜 $33\ 823.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较裸地栽培增产 24.9%,降水生产效率 $105.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$,提高 25%。

3 结论与讨论

1) 双垄全覆膜栽培模式可达到节水、增产,提高降水利用率。试验结果表明:丰水年份早春白膜半膜覆膜模式马铃薯鲜薯产量为 $31\ 657.2\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较裸地增产 62.72%,降水生产效率为 $83.7\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$,提高 47.6%;平水年份,早春白膜双垄全膜产量为 $39\ 242.8\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较裸地栽培增产 13.11%,降水生产效率 $143.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$,提高 15%。

2) 早春顶凌覆膜措施提高土壤水分,特别是耕层土壤水分提高,对旱地作物苗期生长有十分重要的意义。本研究早覆膜能抑制土壤水分蒸发,保墒、提墒作用明显。早春双垄全覆膜垄沟 0~100 cm 土层土壤含水量白膜 18.10%、黑膜 19.73%,较裸地提高 1.56 和 3.19 个百分点,贮水量高 18.66 mm 和 38.46 mm;0~40 cm 土层土壤水分变化差异较大,白膜 17.41%,黑膜 20.14%,较裸地提高 4.59 和 7.32 个百分点,贮水量高 22.12 mm 和 35.29 mm。与王

立祥等研究早春顶凌覆膜减少土壤水分蒸发结果一致^[7]。

3) 马铃薯是中耕培土作物,采用双垄全膜覆盖技术若在沟内种植,沟内覆土层浅,集水过多影响块茎生长,降低品质,这也是作者近几年试验研究发现生产上存在的问题,有待进一步研究探讨,本试验研究结果马铃薯双垄侧种植有利于块茎膨大。

4) 双垄全膜覆盖技术水分经作物孔入渗土壤,早春覆膜后根据作物株距打一孔,作物出苗后两株之间再打一孔,孔径 5~6 cm,孔覆土,6~8 m 打一土埂,防止降雨径流水分损失。

参考文献:

- [1] 金胜利,周丽敏,李凤民,等.黄土高原地区玉米双垄全膜覆盖沟播栽培技术土壤水温条件及其产量效应[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):28-33.
- [2] 武军艳,孙万仓,杨杰,等.不同覆盖处理对甘肃中部地区甘蓝型冬油菜越冬率及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(3):96-99.
- [3] 鲁向晖,隋艳艳,高鹏,等.宁夏南部山区不同耕作方式对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):35-39.
- [4] 郭正坤,张雷,丁世成,等.旱地马铃薯全膜双垄沟播栽培增产效果简报[J].甘肃农业科技,2008,(4):23-24.
- [5] 藏宁.覆盖方式对旱地马铃薯产量和水分利用效率的影响[J].甘肃农业科技,2010,(9):22-24.
- [6] 信东旭,张玉龙,黄毅,等.不同时期覆膜对辽西旱地农田土壤墒情及春玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):114-117.
- [7] 王立祥,李永平.宁南旱区种植结构优化与生产能力提升[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2009.