

全覆膜垄作种植对旱作马铃薯生长和土壤特性的影响

孙梦媛, 刘景辉, 赵宝平, 杨彦明, 高宇

(内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 针对内蒙古长城沿线丘陵区土壤保水保肥性差, 春旱严重及马铃薯产量和降雨利用率低的问题, 采用地膜覆盖和垄作种植相结合的技术手段, 通过连续2年的田间试验, 研究了露地平作(CK)、全膜垄作(全膜双垄上播(A1)、全膜单垄上播(A2)、全膜单垄上微沟播(A3))和全覆膜平作(A4)5种栽培方式对旱作农田土壤酶活性与相应土层土壤含水量、温度、pH及马铃薯生长的影响。结果表明: 整个生育期内, 全覆膜和垄作提高了土壤增温保墒能力, A1、A2、A3和A4处理, 与CK相比, 土壤含水量分别提高了32.76%, 23.60%, 42.92%, 17.58%, 土壤温度分别提高11.51%, 9.41%, 6.87%, 4.83%, 同时显著降低0—20 cm土层土壤pH, 提高了相应土层土壤过氧化氢酶和脲酶活性, 进而增加芽鲜重、根鲜重和芽粗, 提高了根系活力, 降低了丙二醛含量。与CK相比, 产量分别提高48.62%, 34.22%, 52.85%, 21.70%, 显著增加了降雨利用率和肥料偏生产力。可见, 全膜垄作种植可改善土壤质量, 提高作物产量和降雨利用率, 且以A1和A3效果最优, 更适合作为内蒙古长城沿线丘陵区节水高产栽培模式。

关键词: 旱作马铃薯; 全覆膜; 垄作种植; 生长; 产量; 土壤酶活性

中图分类号: S532; S342.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0262-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.05.042

Effects of Full-film Mulching and Ridging Planting on the Rainfed Potato Growth and Soil Characteristics

SUN Mengyuan, LIU Jinghui, ZHAO Baoping, YANG Yanming, GAO Yu

(Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019)

Abstract: In order to solve the problems of low capacity of water and nutrients retention, drought stress, low potato yield and rainfall utilization rate in the hilly area along the Great Wall of Inner Mongolia, a two-year field experiment with different plastic mulching and ridge tillage planting was conducted. The soil enzyme activity, soil water content, soil temperature, pH and potato growth and yield was studied under five planting treatments, which were full-film mulching with double ridge planting (A1), full-film mulching with single ridge planting (A2), full-film mulching with single ridge micro furrow planting (A3), full-film with flat planting (A4) and traditional planting (CK). The result showed that in different growth stages of potato, full-film mulching and ridging planting densities had different effects on soil water content and soil temperature. Compared with CK, the soil water content of A1, A2, A3 and A4 treatments was increased by 32.76%, 23.60%, 42.92% and 17.58%; the soil temperature of A1, A2, A3 and A4 treatments was increased by 11.51%, 9.41%, 6.87% and 4.83% respectively. Meanwhile, the activities of soil enzymes (soil catalase activity and soil urease activity) was increased and soil pH was decreased under different plastic mulching and ridge tillage treatments, and result in the increase of the potato bud fresh weight, root fresh weight, bud diameter and root activity, and the decrease of malonaldehyde content (MDA) accordingly. Compared with CK, the tuber yield significantly was increased by 48.62%, 34.22%, 52.85%, 21.70% in A1, A2, A3 and A4 treatment respectively, and the rainfall utilization rate and fertilizer biased productivity were also significantly increased. In conclusion, full-film mulching with ridging tillage could significantly improve soil quality and increase crop yield and rainfall utilization rate, and the effect of A1 and A3 treatments A3 and A1 was more optimal, which could be a water saving cultivation practice in the rain-fed and hilly area along the Great Wall of Inner Mongolia.

Keywords: Rain-fed potato; Full-film mulching; Ridging Culture Planting; Growth; Yield; Soil enzyme activity

收稿日期: 2018-03-30

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD22B04-02)

第一作者: 孙梦媛(1992—), 女, 博士研究生, 主要从事作物栽培与耕作学研究。E-mail: 13789411831@163.com

通信作者: 刘景辉(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: cauljh@163.com

马铃薯是一种粮菜兼用型经济作物,含有多种营养和生理活性物质,对人体具有一定的调理作用^[1-2]。中国马铃薯栽培区主要分布在干旱和半干旱区域,土壤保水保肥性差、蒸发性强,地下水较深,没有上行补给的可能,降雨成为土壤水分的唯一来源^[3]。春播地温低^[4]、降雨量少^[5]、变率大、分布不均匀和当地马铃薯栽培技术落后及管理不恰当等因素长期影响着内蒙古长城沿线旱作丘陵区马铃薯产量和水分利用效率。因此,如何应用保水、集水措施来增加马铃薯对天然降雨的利用效率是提升马铃薯产量的首要措施。垄沟地膜覆盖栽培能够将小于5 mm的无效降雨汇集转化为作物的有效水资源^[6],提高土壤含水量和温度^[7],通过淋溶减少肥料的损失,增加养分供应^[8],被广泛应用于干旱和半干旱地区,已成为该区域研究热点。

Qin等^[9]研究表明,沟垄覆膜提高了半干旱地区马铃薯产量,并且影响了土壤水分运移。王红丽等^[10]研究表明,旱地全膜双垄沟播提高玉米的产量,改善土壤水热状况。陈志君等^[11]研究表明,东北雨养区覆膜种植显著提高0—20 cm土壤含水量,除高密度外,对20—40 cm土层含水量无显著影响。Ren等^[12]研究表明,沟垄覆盖显著增加0—20 cm土层土壤温度。舒英杰等^[13]研究表明,地膜覆盖有利于辣椒定植初期10 cm土温的升高,还可显著降低土壤pH。刘星华等^[14]研究表明,顶凌全膜双垄沟播能够显著提高田间0—40 cm土壤过氧化氢酶活性、脲酶活性。Dong等^[15]研究表明,覆膜能提高土壤温度和水分,并且促进马铃薯发芽与出苗。植物根不断地从土壤中吸收养分和水分,对植物的生长发育及产量形成有极其重要的作用。覆膜和垄作改善了土壤水热环境^[7],进而引起了土壤理化性质的变化,促进马铃薯生长和根系活力提高,延缓了植株衰老。王颖慧等^[16]研究表明,覆膜能降低叶片MDA含量,并使其

处于较低水平。然而目前针对覆膜改善土壤水热环境研究较多,而有关全覆膜垄作如何改善作物生理代谢及芽条生长和土壤酶活性系统性研究较少,为此本研究选取典型内蒙古长城沿线旱作丘陵区作为试验地,通过连续2年田间试验,以露地平作为对照,探讨了不同全膜垄作方式对旱作马铃薯生理特性、芽条生长状况、产量和土壤特性的影响,旨在为马铃薯高产稳产栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2015—2016年在内蒙古清水河县宏河镇进行,该地区为典型长城沿线旱作丘陵区,旱坡地占90%以上,平均海拔1374 m。年均气温7.1℃,≥10℃积温2370℃,无霜期140 d,年日照时间2914 h,年均大风日数19 d,年总辐射量570.6 kJ/cm²,干燥度3.94,年蒸发量2577 mm,年均降水量365 mm,降水主要集中在7—8月,春旱尤为严重,属典型的中温带半干旱大陆性季风气候。试验地土壤类型为黄绵土,土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮含量为10.45, 1.90, 1.13, 24.50, 38.80 g/kg,速效磷、速效钾含量为16.70, 143.62 mg/kg, pH 7.87。2015年,生育期降水量仅为152.9 mm, 2016年,生育期降水量450 mm(表1、图1)。

表1 试验地马铃薯生育期内降雨发生的频度和强度的统计特征

降雨量/mm	2015年生长季			2016年生长季		
	次数	总降雨量/mm	比率/%	次数	总降雨量/mm	比率/%
<5	24	36.1	23.61	25	35.2	7.8
5~10	8	53.1	34.73	4	32.3	7.2
10~20	1	19.2	12.56	9	129.1	28.7
>20	2	44.5	29.10	8	253.4	56.4
总计	35	152.9		46	450.0	

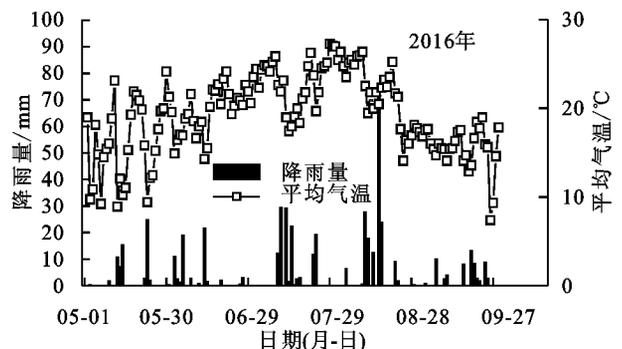
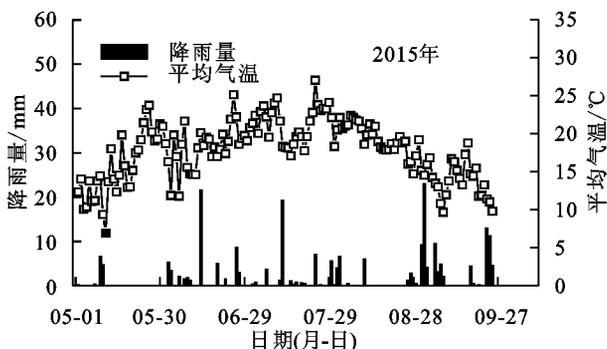


图1 试验地马铃薯生育期内日平均气温和日降雨量变化

1.2 试验设计

2015年和2016年均5月10日起垄覆膜,5月11日人工点播,供试马铃薯为当地主栽品种克新1号,播前施用马铃薯复合肥900 kg/hm²(N:P₂O₅:

K₂O=18:10:15)是当地种植马铃薯常用复合肥。试验采用随机区组设计,播深10~15 cm,小区面积4.4 m×7 m=30.8 m²,3次重复。试验共5个处理,分别为:CK(露地平作,平作不覆膜,常规对照种植。

播种时等行距种植,行距 55 cm);A1(全膜双垄垄上播种,全地面覆盖,大垄宽 70 cm,高 20 cm,小垄宽 40 cm,高 15 cm,用 120 cm 宽的地膜全地面覆盖,地膜在小垄脊中合缝,用土封严,每幅播种 2 行);A2(全膜单垄垄上播种,全地面覆盖,垄宽 70 cm,高 20 cm,垄沟宽 40 cm。用 120 cm 宽的地膜全地面覆盖,地膜在沟中间合缝,用土封严每垄播种 2 行);A3(全膜单垄垄上微沟播种,全地面覆盖,垄宽 70

cm,高 20 cm,垄中开深 5~8 cm 小沟,每垄播种 2 行);A4(全覆膜平作,平作不覆膜,常规对照种植(图 2)。播种时等行距种植,行距 55 cm)播种后 1 周左右,待地膜坐实并与地面贴紧时,在沟中间每隔 50 cm 处打渗水孔,便于集雨,用周边土壤堵住渗水孔以防无效蒸发。对所有的小区,除了垄作方式不同外,其余包含土地整理、病虫害防治、田间管理等农事过程完全相同。

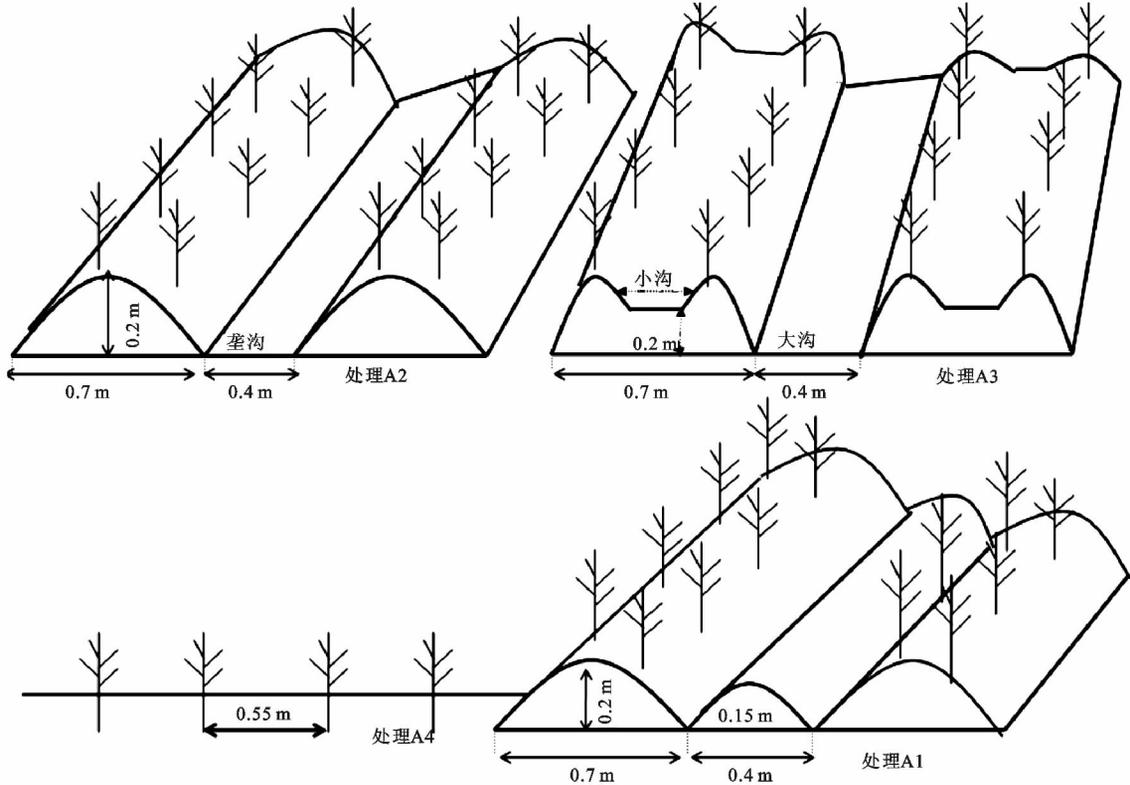


图 2 试验处理示意

1.3 测定指标与方法

(1)土壤水分和温度测定:芽条期、苗期、块茎形成期、块茎膨大期和成熟期测定 8:00,14:00,20:00 垄上 2 穴之间的土壤温度;土壤含水量采用烘干称重法,用土钻钻取垄上 2 穴之间 0—20 cm 土壤样品,存放铝盒中用 105 ℃ 烘至恒重。

(2)土壤酶活性和 pH 测定:苗期、块茎膨大期和成熟期在垄上 2 株之间随机取样,先除去样点土壤表层杂草等杂物,然后用土钻随机钻取 0—20 cm 土层土壤样品,每个处理 3 次重复,按不同层次混合均匀,带回实验室。避光风干后过 1 mm 筛子直接进行土壤酶活性各指标的测定。脲酶活性采用靛酚比色法^[17],过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法^[17]。土壤 pH 在播种前、块茎膨大期和收获后,对 0—20 cm 深度土壤进行采样,用酸度计进行测量。

(3)马铃薯芽条形态测定:每小区取 5 穴马铃薯测定。用称重法测定芽鲜重、根鲜重;用游标卡尺测量芽粗。

(4)马铃薯生理指标测定:马铃薯苗期、块茎形成期、块茎膨大期和淀粉积累期,取马铃薯倒四叶叶片和根系用冰盒带回实验室进行测定。根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定。丙二醛(MDA)采用硫代巴比妥酸比色法测定^[18]。

(5)马铃薯产量测定:测产时,采集除去边行、未进行取样的 3 垄马铃薯测实产。

(6)马铃薯降雨利用率和水分吸收量计算:降雨利用率($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$) = 产量(kg/hm^2)/生育期降雨量(mm);肥料偏生产力(PFP)(kg/kg) = 产量(kg)/投入肥料总量(kg)。

1.4 数据处理

应用 Origin 8.0 软件对数据进行处理和作图,SAS 9.0 进行数据分析,LSD 法检验处理间差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 全覆膜和垄作对土壤含水量的影响

全覆膜和垄作持续显著影响土壤表层 0—20 cm

土壤含水量,与CK存在显著差异(表2)。2015年,整个生育期内不同处理土壤含水量均始终显著高于CK,分别提高4.98%~29.68%(芽条期),9.33%~29.21%(苗期),37.47%~56.84%(块茎形成期),16.46%~40.23%(块茎膨大期),22.76%~44.51%(淀粉积累期),27.35%~55.68%(成熟期);整个生育期平均,A1、A2、A3和A4处理,与CK相比,分别提高30.63%,23.83%,41.94%,19.24%;2016年,土壤含水量呈先降低在升高趋势,芽条期表层土壤含

水量最高,淀粉积累期含水量最低。各处理土壤含水量较CK提高5.19%~22.64%(芽条期),1.02%~21.85%(苗期),14.14%~40.18%(块茎形成期),38.24%~73.24%(块茎膨大期),22.10%~66.27%(淀粉积累期),25.62%~62.00%(成熟期),整个生育期平均,A1、A2、A3和A4处理,与CK相比,分别提高35.16%,23.34%,44.02%,15.70%。总之,从整个生育期来看,各处理土壤含水量的变化规律基本一致,A1和A3处理土壤含水量最高。

表2 不同生育期土壤含水量的变化

单位:%

年份	处理	时期					
		芽条期	苗期	块茎形成期	块茎膨大期	淀粉积累期	成熟期
2015	CK	7.16e	8.69d	7.43d	8.91e	8.40d	5.91d
	A1	8.39b	10.28b	11.34a	11.6b	11.18b	7.95b
	A2	7.82c	9.98b	10.56b	10.97c	10.46c	7.78bc
	A3	9.28a	11.23a	11.66a	12.49a	12.14a	9.20a
	A4	7.51d	9.50c	10.22c	10.37d	10.32c	7.52c
2016	CK	8.85d	8.15d	6.67d	5.35e	5.04d	7.08e
	A1	10.33b	9.26b	9.06a	8.78b	7.73b	10.42b
	A2	9.69c	8.58c	8.16b	7.62c	7.36c	9.30c
	A3	10.86a	9.93a	9.35a	9.27a	8.37a	11.46a
	A4	9.31c	8.23cd	7.61c	7.39c	6.15d	8.89d

注:同列不同小写字母分别表示在0.05水平上差异显著。下同。

2.2 全覆膜和垄作对土壤温度日变化的影响

由表3可知,全覆膜和垄作持续提高生育期内土壤温度,从8:00—14:00随着光照变强,气温上升,各处理温度均上升,在14:00达到最大值,14:00—20:00各处理温度均为下降;随着生育进程推进,8:00各处理平均温度均呈先上升后下降趋势,14:00—20:00各处理平均温度均呈先下降后上升再下降趋势。2015年,8:00为温度最低的时刻,芽条期、苗期、块茎形成期、块茎膨大期和成熟期,各处理平均较CK提高0.40~2.51,0.80~2.85,1.63~2.96,0.12~0.59,0.05~0.51,0.35~1.03℃;14:00和20:00生育期平均,各处理较CK提高0.66~2.24,0.71~1.69℃。2016年,土壤温度类似于2015年,各生育时期不同处理,与CK相比,分别提升2.50~1.19,2.18~0.91,1.36~0.26,1.40~0.54,2.10~1.46℃。全膜垄作(A1、A2、A3)处理作用效果优于全膜平作(A4)处理,处理间总体表现为A2>A1>A3>A4>CK。

2.3 全覆膜和垄作对土壤酶活性的影响

土壤酶活性反映了脲酶催化尿素水解成氨,可以用来表征土壤中有机态氮的转化状态,过氧化氢酶的活性表征土壤腐殖质化强度大小和有机质积累程度能,促进土壤中的过氧化氢分解,从而解除了过氧化氢的毒害作用,与马铃薯生长息息相关。各处理对马铃薯田土壤酶活性有明显影响,土壤过氧化氢酶和脲酶活性均随生育进程推进呈单峰曲线变化,苗期最低,块茎膨大期达到峰值(表4)。2015年,整个生育期平

均,A1、A2、A3和A4处理,分别提高了12.83%,9.65%,17.28%,6.41%。2016年,土壤过氧化氢酶活性变化与2015年相似,A1、A2、A3和A4过氧化氢酶活性,与CK相比,分别平均提高了13.37%,8.19%,21.50%,6.68%。脲酶变化同过氧化氢酶相似,2015年,整个生育期平均,A1、A2、A3和A4处理土壤脲酶活性,分别提高了1.70,1.42,1.79,1.37倍;2016年,整个生育期平均,A1、A2、A3和A4土壤脲酶活性,与CK相比,分别提高了1.38,1.21,1.46,1.19倍。全覆膜和起垄改善了土壤水热微环境,进而影响了土壤微生物活动和酶活性,且全膜垄作(A1、A2和A3)处理酶活性优于全膜平作A4处理。

2.4 全覆膜和垄作对土壤pH的影响

由表5可知,各处理pH随时间推进呈先降低后上升趋势,播前各处理土壤pH差异不显著,块茎膨大期和收获后,各处理pH均显著低于CK,即地膜覆盖后土壤酸性增加。2015年,块茎膨大期,A1、A2、A3和A4处理均显著低于CK,且处理间差异也达到显著水平,与CK相比,分别降低2.99%,2.24%,3.19%,1.73%;收获后,A1、A2、A3和A4处理均显著低于CK,除A3外,处理间差异不显著,与CK相比,分别降低1.05%,0.69%,1.96%,0.59%。类似地,2016年变化趋势同2015年,块茎膨大期和收获后,A1、A2、A3和A4处理均显著低于CK,且处理间差异也达到显著水平,与CK相比,分别降低6.32%,4.52%,7.22%,2.02%(块茎膨大期),1.59%,0.71%,2.01%,0.33%。主要原因是覆

膜垄作改善土壤理化性状,加快有机质分解,促进土壤呼吸作用,从而导致 pH 降低。

表 3 不同生育时期土壤温度的日变化

单位:℃

年份	时刻	处理	生育时期					成熟期
			芽条期	苗期	块茎形成期	块茎膨大期	淀粉积累期	
2015	8:00	CK	18.15d	14.85e	25.94d	20.68c	19.91b	19.97d
		A1	20.66a	17.40b	28.70a	21.27a	20.24a	21.01a
		A2	19.60b	17.70a	28.90a	21.21a	20.43a	20.90a
		A3	19.00c	16.67c	28.14b	21.05b	19.99b	20.66b
		A4	18.55cd	15.65d	27.57c	20.80c	19.96b	20.33c
	14:00	CK	24.51c	23.81d	23.07d	21.99b	23.86c	22.49e
		A1	26.91a	26.90a	25.53b	22.50a	25.45a	25.61b
		A2	26.05ab	26.99a	26.00a	22.68a	24.97b	25.79a
		A3	25.83ab	25.77b	24.67c	22.57a	24.15c	25.31c
		A4	25.41bc	24.61c	24.42c	22.13b	24.05c	23.34d
	20:00	CK	22.37d	23.20e	21.43e	22.25c	23.60c	21.01b
		A1	25.78a	26.33b	22.68b	23.07a	24.31a	22.45a
		A2	25.39b	27.61a	23.17a	22.63b	24.30a	22.21a
		A3	25.22b	25.41c	22.37c	22.57bc	24.13a	22.13a
		A4	24.06c	24.51d	22.14d	22.45bc	23.88b	22.09a
		CK	19.52d	19.71c	19.87d	21.83b	19.82b	15.53c
2016	8:00	A1	21.36a	20.55b	21.55b	22.15a	20.43a	16.71a
		A2	20.69b	21.12a	22.40a	22.05ab	20.47a	16.77a
		A3	19.82c	19.95c	21.39b	22.01ab	20.30a	16.27b
		A4	19.64cd	19.73c	21.03c	21.86b	19.93b	16.19b
	14:00	CK	23.41d	23.58c	21.02c	24.72b	22.51c	20.34b
		A1	26.19a	25.77ab	22.26a	25.93a	25.51a	22.18a
		A2	25.73b	26.24a	22.29a	25.83a	24.89ab	22.08a
		A3	25.38bc	25.32b	21.85b	25.02ab	24.23ab	22.02a
20:00	A4	25.09c	25.28b	21.81b	24.90b	23.88bc	21.75ab	
	CK	21.43c	22.37d	21.09d	25.73ca	23.81b	18.41c	
	A1	25.00a	25.22b	23.21b	28.28b	24.41a	21.35ab	
	A2	24.63a	25.78a	23.82a	26.63b	24.11ab	21.75a	
		A3	23.71b	25.18b	21.98c	26.61b	24.05ab	21.12ab
		A4	23.46b	24.20c	21.85c	26.31b	23.94b	20.74b

表 4 不同生育期土壤酶活性的变化

单位:mL/g

年份	处理	过氧化氢酶			脲酶		
		苗期	块茎膨大期	成熟期	苗期	块茎膨大期	成熟期
2015	CK	10.54d	17.36c	12.44c	0.44c	0.90c	0.58d
	A1	12.63b	19.46ab	13.65b	0.76a	1.71a	0.79b
	A2	11.55c	18.76b	13.35b	0.71a	1.34b	0.68c
	A3	13.58a	20.42a	15.03a	0.78a	1.74a	0.91a
	A4	11.59c	18.41bc	13.05bc	0.60b	1.34b	0.69c
2016	CK	9.94e	14.73e	10.91c	0.67d	0.55c	0.71c
	A1	12.62b	15.92b	11.6ab	0.87ab	0.85a	0.95a
	A2	12.03c	15.63c	11.34bc	0.82bc	0.67b	0.84b
	A3	13.23a	16.50a	11.99a	0.91a	0.91a	0.98a
	A4	11.28d	15.32d	11.25bc	0.81c	0.66b	0.83b

表 5 不同时期土壤 pH 的变化

处理	2015 年			2016 年		
	播前	块茎膨大期	收获后	播前	块茎膨大期	收获后
CK	7.85a	7.79a	7.81a	7.82a	7.82a	7.82a
A1	7.84a	7.56d	7.72b	7.82a	7.82a	7.82a
A2	7.85a	7.61c	7.75b	7.83a	7.83a	7.83a
A3	7.84a	7.54d	7.65c	7.82a	7.82a	7.82a
A4	7.84a	7.65b	7.76b	7.82a	7.82a	7.82a

2.5 全覆膜和垄作对芽条生长的影响

通过休眠的块茎在适宜的温度条件下就能萌发生长,植株的生理和产量的形成在一定程度上是受芽

条发育水平的影响。由表 6 可知,2015 年,各处理芽鲜重均与 CK 存在显著差异,与 CK 相比,分别提高了 1.20,1.33,1.34,1.17 倍;A4 根鲜重与 CK 无显著差异,其他处理均与 CK 差异显著,A1、A2、A3、A4 处理,与 CK 相比,分别提高 1.17,1.51,1.19,1.05 倍;A1 和 A3 处理芽粗与 CK 差异显著,A2 和 A4 与 CK 无显著差异,A1、A2、A3、A4 处理,与 CK 相比,分别提高 1.41,1.17,1.52,1.08 倍。2016 年,A4 芽鲜重与 CK 无显著差异,其他处理均与 CK 差异显著,仅 A3 根鲜重与 CK 差异显著,A4 芽粗与 CK 无

显著差异,其他处理均与CK差异显著。各处理芽鲜重、根鲜重和芽粗分别较CK提高1.06~1.75,1.03~1.44,1.03~1.35倍。总体来看,全膜垄作(A1、A2和A3)处理芽条生长优于全膜平作(A4)处理,且以A1和A3处理最好。

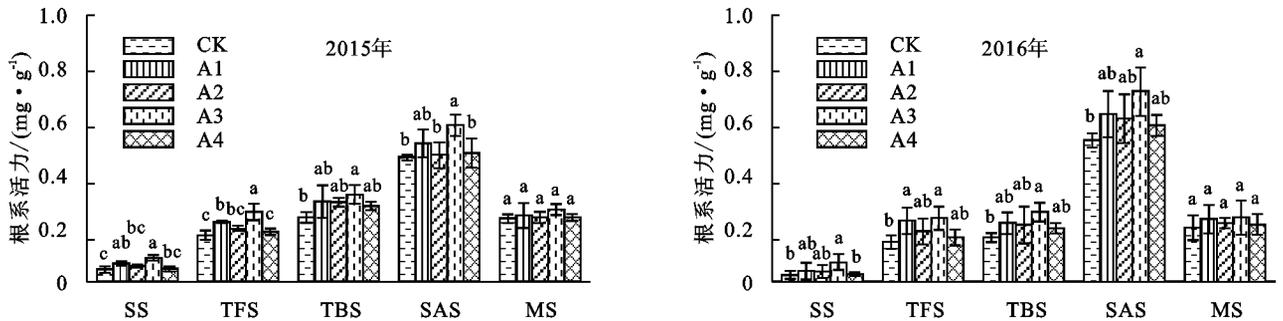
表6 马铃薯芽条生长的变化

处理	2015年			2016年		
	芽鲜重/	根鲜重/	芽粗/	芽鲜重/	根鲜重/	芽粗/
	g	g	cm	g	g	cm
CK	8.66c	2.75c	0.48c	9.79d	2.83b	0.57c
A1	10.35b	3.21b	0.68ab	15.16b	3.07b	0.72a
A2	11.48a	4.14a	0.57bc	11.97c	2.97b	0.63b
A3	11.61a	3.28b	0.74ab	17.17a	4.07a	0.77a
A4	10.09b	2.89c	0.52c	10.35d	2.92b	0.59bc

2.6 全覆膜和垄作对马铃薯根系活力的影响

根系是植物最重要的吸收器官和代谢器官,根系直接与土壤接触,对环境因素格外敏感,对土壤环境做出响应,根系活力能够较客观反映根系生命力,且与抗旱性密切相关。2015年和2016年,A1、A2、A3和A4处理根系活力明显高于CK,随生育时期推进呈先升高后降低趋势,不同时期增加幅度不同(图3)。2015年,苗期和块茎形成期根系活力,A1和A3

处理显著高于CK,A2和A4与CK相比差异不显著,(A1、A2、A3和A4)处理,与CK相比,分别提高了21.22%,11.64%,42.70%,1.60%(苗期)和21.98%,10.69%,38.59%,5.67%(块茎形成期);块茎膨大期和淀粉积累期,仅有A3处理显著高于CK,A1、A2和A4与CK相比差异不显著;成熟期,各处理均与CK差异不显著,与CK相比,分别提高了3.90%,1.61%,11.49%,1.56%。2016年,苗期的根系活力,A3处理与A1和A2处理差异不显著,但与其他处理间均存在显著性差异;块茎形成期的根系活力,A1和A3处理显著高于CK,A2和A4与CK相比差异不显著,A1、A2、A3和A4处理,与CK相比,分别提高了30.72%,15.27%,34.86%,6.78%;块茎膨大期和淀粉积累期,仅有A3处理显著高于CK,A1、A2和A4与CK相比差异不显著;成熟期,各处理均与CK差异不显著,A1、A2、A3和A4处理,与CK相比,分别提高了10.45%,5.38%,12.21%,3.80%。可见,全膜垄作均有利于马铃薯植株根系活力提高,延缓马铃薯生育后期根系衰老并维持较长时间的吸收能力,以向块茎输送更多的营养物质,并以A1和A3处理根系活力最高,更有利于马铃薯生长。



注:SS为苗期;TFS为块茎形成期;TBS为块茎膨大期;SAS为淀粉积累期;MS为成熟期;上不同字母表示同一年度各处理间在0.05水平上差异显著。下同。

图3 不同生育期马铃薯根系活力的影响

2.7 全覆膜和垄作对马铃薯叶片丙二醛(MDA)含量的影响

MDA是膜脂过氧化作用的主要产物,其含量大小能够反映细胞膜受损伤的程度,是植株抗逆性的重要指标之一。由表7可知,2015年苗期和块茎形成期,A1、A2、A3和A4处理马铃薯叶片MDA含量显著低于CK,分别降低了18.49%,15.03%,18.66%,9.80%和10.09%,8.53%,12.59%,7.94%;块茎膨大期和淀粉积累期,仅有A3处理叶片MDA含量显著低于CK,A1、A2和A4与CK相比差异不显著。2016年,A1、A2、A3和A4处理对马铃薯苗期叶片MDA含量均具有显著性影响,与CK相比,降低了14.68%,11.89%,18.88%,11.36%;块茎形成期,A1和A3处理叶片MDA含量显著低于CK,A2和

A4与CK相比差异不显著;块茎膨大期和淀粉积累期,A1、A2、A3和A4与CK相比差异不显著,分别较CK降低4.39%,3.06%,5.69%,1.68%和6.01%,4.22%,6.41%,1.16%。说明全膜垄作栽培条件下马铃薯叶片衰老期间细胞膜脂过氧化水平相对较低,质膜受损程度较轻,这对维持细胞代谢水平具有重要意义。

2.8 全覆膜和垄作对马铃薯产量和降雨利用率及肥料偏生产力的影响

由表8可知,全覆膜和垄作显著增加马铃薯产量,A1、A2、A3和A4处理,与CK相比,分别增加48.62%,34.22%,52.85%,21.70%;不同处理马铃薯肥料偏生产率和降雨利用率不同。全覆膜和垄作显著增加了马铃薯肥料偏生产力和降雨利用率,

A1、A2、A3 和 A4 处理降雨利用率分别为 150.31, 135.75, 154.60, 123.09 kg/(hm²·mm)。全膜平作 (A4) 同样可增加降雨利用率和马铃薯肥料偏生产

力, 但增加程度远不及全膜垄作处理。综上, 各处理马铃薯产量、降雨利用率和肥料偏生产力总体表现为 A3>A1>A2>A4>CK。

表 7 不同生育期马铃薯叶片丙二醛含量的影响

单位: nmol/g

处理	2015 年				2016 年			
	苗期	块茎形成期	块茎膨大期	淀粉积累期	苗期	块茎形成期	块茎膨大期	淀粉积累期
CK	34.50a	37.77a	39.97a	60.46a	33.14a	33.14a	38.64a	54.39a
A1	28.12c	33.96bc	36.54ab	55.55ab	28.27bc	29.59b	36.95a	51.12a
A2	29.32bc	34.55b	38.66ab	56.58ab	29.20b	31.26ab	37.46a	52.09a
A3	28.07c	33.01c	35.87b	52.83b	26.88c	29.20b	36.45a	50.90a
A4	31.12b	34.77b	38.98ab	58.00ab	29.37b	32.05ab	37.99a	53.75a

表 8 各处理马铃薯产量及降雨利用率的变化

处理	产量/ (kg·hm ⁻²)	增产率/ %	肥料偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)	降雨利用率/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
CK	30402.86d		33.78d	101.14d
A1	45183.31ab	48.62	50.20ab	150.31ab
A2	40805.98bc	34.22	45.34bc	135.75bc
A3	46471.50a	52.85	51.64a	154.60a
A4	37001.27c	21.70	41.11c	123.09c

表 9 马铃薯产量与形态、生理及土壤理化指标间相关性分析

指标	产量	芽鲜重	根鲜重	芽粗	根系活力	MDA	含水量	温度	过氧化氢酶	脲酶
产量	1.000									
芽鲜重	0.958*	1.000								
根鲜重	0.770	0.837	1.000							
芽粗	0.934*	0.977**	0.706	1.000						
根系活力	0.937*	0.987**	0.781	0.976**	1.000					
MDA	-0.995**	-0.971**	-0.788	-0.944*	-0.961**	1.000				
含水量	0.986**	0.974**	0.795	0.944*	0.972**	-0.997**	1.000			
温度	0.723	0.568	0.659	0.464	0.465	-0.672	0.636	1.000		
过氧化氢酶	0.961**	0.985**	0.795	0.963**	0.994**	-0.983**	0.991**	0.538	1.000	
脲酶	0.984**	0.952*	0.697	0.950*	0.957*	-0.990**	0.988**	0.608	0.975**	1.000

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著差异。

3 讨论

土壤水分状况是干旱和半干旱地区制约农业发展主要限制因素, 起垄和覆膜的结合改变了地面微地形, 实现了对自然降雨在时间和空间上的可调配性, 影响了土壤水分的运动, 可增加作物产量, 提高水分利用率^[19]。微垄覆膜侧播栽培模式下, 5 mm 降雨即可显著提高马铃薯根际 0—20 cm 土层土壤含水量, 10 mm 时微垄覆膜侧播的贮水效果最好^[20]。本研究表明, 全覆膜和垄作显著提高了生育期内土壤含水量, 全膜垄作 (A1、A2、A3) 作用效果优于全膜平作 (A4) 处理, 且以 A1 和 A3 效果最佳。覆膜垄作改变农田微地形, 能够有效收集降雨、减少土壤蒸发、降低地表径流, 从而提高了土壤含水量。本研究发现, 全覆膜和垄作一定程度上影响着土壤温度的变化, 土壤

2.9 马铃薯产量与形态、生理及土壤理化指标间相关性分析

由表 9 可知, 马铃薯产量与芽粗、芽鲜重和根系活力呈显著正相关。马铃薯产量与土壤含水量、过氧化氢酶和脲酶活性呈极显著正相关, 说明土壤水分是产量形成关键因素。全膜垄作改善了土壤水热状况, 也改善了土壤微环境, 促进了马铃薯产量形成。马铃薯产量与叶片 MDA 含量呈极显著负相关。叶片 MDA 含量一定程度反映了马铃薯叶片衰老程度, 其值越低说明马铃薯生长越好。

温度变化又随着植株的生长, 气温的升高有所改变。2015 和 2016 年生育后期土壤温度明显小于前期, 且较 CK 增温幅度也有所下降, 这与吴从林等^[21] 研究结果相似, 主要是因为苗期较小的作物冠层允许大量光照透过被地膜接收, 而随着增加的冠层, 截获更多的光照从而减弱了地膜的增温效应。

土壤 pH 主要受土壤氧化还原电位和土壤空气中 CO₂ 浓度的影响。本研究表明, 各处理 pH 随时间推移呈先降低后上升趋势, 播前各处理土壤 pH 差异不显著, 块茎膨大期和收获后各处理 pH 均显著低于 CK, 即地膜覆盖后土壤酸性增加, 这与井大炜^[22] 研究结果相似。地膜覆盖后改善了土壤水热环境, 促进根系呼吸和土壤微生物呼吸, 促使有机物质分解加快, 从而使土壤中 CO₂ 浓度增高, 这可能是导致 pH 下降的主要原因。本研究表明, 全覆膜和垄作提高了

表层 0—20 cm 土壤过氧化氢酶和脲酶活性,这与刘星华等^[14]在玉米上得到结论相近。土壤酶活性提高可归结于地膜覆盖和起垄改善农田生态微环境和土壤水热状况,形成良好的局部水肥气热条件,促进土壤养分的释放,进而提高土壤酶活性。

Chen 等^[23]研究表明,不同覆盖种植有效改善水分、温度,促进作物早期的生长。本研究表明,全覆膜和垄作不仅改善芽条生长,显著提高芽鲜重、根鲜重和芽粗,而且提高了各生育期马铃薯的根系活力,且以 A1 和 A3 改善效果最好。可能是覆膜垄作改善了土壤水热微环境,较好缓和了土壤旱情,从而促进马铃薯生长和根系活力提高。起垄覆膜沟播处理与传统平作相比,不仅 MDA 含量较低,而且提高也较缓慢^[24]。本研究表明,全膜垄作(A1、A2、A3)处理叶片 MDA 含量均低于 A4 和 CK。总之,当降雨较少时,全膜垄作起到集雨保水作用,有效降低了土壤水分蒸发,保持了相对较高的土壤水分含量降低对植株的干旱胁迫程度,有效降低了 MDA 含量,降低干旱对马铃薯植株胁迫作用。

Li 等^[25]研究表明,地膜覆盖提高了黄土高原旱作区马铃薯的产量和水分利用效率。本研究认为,全覆膜垄作显著提高马铃薯产量、降雨利用率和肥料偏生产力,且以 A1 和 A3 效果最佳。马铃薯的产品器官在地下,生长过程中需要培土,起垄能保证马铃薯根系的充分生长和块茎的膨大,覆膜能够起到很好集雨保墒作用,垄作栽培技术和覆膜措施的结合,能够提高土壤含水量、土壤酶活性,促进马铃薯生长,进而提高马铃薯产量。

4 结论

全膜垄作栽培增温保墒效果明显优于全膜平作和露地平作,其中以 A1 和 A3 处理效果最显著,与 CK 相比,土壤含水量分别增加 32.76%,42.92%,土壤温度分别提高 11.51%,6.87%。全覆膜和垄作降低 0—20 cm 土层土壤 pH,提高相应土层土壤过氧化氢酶和脲酶活性,均以 A1 和 A3 处理表现最好。

覆膜和垄作增加了芽鲜重、根鲜重和芽粗,提高根系活力,并且降低叶片 MDA 含量。覆膜和垄作显著提高马铃薯产量、降雨利用率和肥料偏生产力,不同处理作用效果为 A3>A1>A2>A4>CK,其中 A1 和 A3 处理产量分别提高 48.62%,52.85%,降雨利用率分别为 150.31,154.60 kg/(hm²·mm)。

因此,建议旱作农业地区采用全膜单垄垄上微沟播(A3)和全膜双垄垄上播(A1)种植技术,该技术具有明显的增温保墒、促进芽条生长和根系活力提高、延缓衰老、稳产增效的作用,可有效缓解长城沿线丘陵区春播地温

低、生育期降雨少和蒸发量大所带来的不利条件,对该区合理利用水资源具有重要现实意义。

参考文献:

- [1] 曾凡逵,许丹,刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015(4):233-243.
- [2] 吕巨智,染和,姜建初. 马铃薯的营养成分及保健价值[J]. 中国食物与营养,2009(3):51-52.
- [3] 郭晓霞,刘景辉,田露,等. 免耕轮作对内蒙古地区农田贮水特性和作物产量的影响[J]. 作物学报,2012,38(8):1504-1512.
- [4] Rockström J, Lannerstad M, Falkenmark M. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2007, 104(15): 6253-6260.
- [5] 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]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4): 241-249.
- [6] 任小龙,贾志宽,丁瑞霞,等. 我国旱区作物根域微集水种植技术研究进展及展望[J]. 干旱地区农业研究, 2010,28(3): 83-89.
- [7] Gu X B, Li Y N, Du Y D. Biodegradable film mulching improves soil temperature, moisture and seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Soil & Tillage Research,2017, 171: 42-50.
- [8] Haraguchi T, Marui A, Yuge K, et al. Effect of plastic-film mulching on leaching of nitrate nitrogen in an upland field converted from paddy [J]. Paddy Water Environment. 2004, 2(2): 67-72.
- [9] Qin S H, Zhang J L, Dai H L, et al. Effect of ridge-furrow and plastic-mulching cropping patterns on yield formation and water movement of potato in a semi-arid area [J]. Agricultural Water Management, 2014, 131(1): 87-94.
- [10] 王红丽,张绪成,宋尚有,等. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011,22(10):2609-2614.
- [11] 陈志君,孙仕军,张旭东,等. 东北雨养区覆膜和种植密度对玉米田间土壤水分和根系生长的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(1):224-229,235.
- [12] Ren X L, Chen X L, Jia Z K. Impacts of ridge-furrow rainfall concentration systems and mulches on corn growth and yield in the semiarid region of China [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(11): 3882-3889.
- [13] 舒英杰,周玉丽,张子学,等. 麻地膜与肥料互作对辣椒生长、土壤养分及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(2):175-180.

- 系辣椒品质及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5):17-20.
- [8] 马国礼. 不同水氮处理对日光温室基质栽培辣椒生长生理及养分吸收分配的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [9] 刘学娜. 水氮耦合对日光温室黄瓜生理特性及水氮利用效率的影响[D]. 山东 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [10] 李静. 滴灌施肥条件下温室黄瓜水氮耦合效应研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [11] 符伟, 成燕清, 王秋丽, 等. 小菜蛾为害不同生育期甘蓝对产量的影响及经济阈值研究[J]. 植物保护, 2012, 38(4):50-53.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000:246-248.
- [13] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化学实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015:171-173.
- [14] 李帮秀, 张贺翠, 王三根, 等. 蔬菜硝酸盐含量测定方法的改进[J]. 植物生理学报, 2014, 50(11):1749-1752.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000:263-271.
- [16] 胡蜀东, 王秀茹. 黑土区肥料运筹对玉米生物性状及水肥利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4):219-226.
- [17] Karam F, Kabalan R, Breidi J, et al. Yield and water-production functions of two durum wheat cultivars grown under different irrigation and nitrogen regimes [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(4):603-615.
- [18] 马波, 田军仓. 膜下小管出流压砂地西瓜水肥耦合产量效应研究[J]. 节水灌溉, 2009(10):6-9.
- [19] 杨小振, 张显, 马建祥, 等. 滴灌施肥对大棚西瓜生长、产量及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(7):109-118.
- [20] 王鹏勃, 李建明, 丁娟娟, 等. 水肥耦合对温室袋培番茄品质、产量及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(2):314-323.
- [21] 宋娜, 王凤新, 杨晨飞, 等. 水氮耦合对膜下滴灌马铃薯产量、品质及水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13):98-105.
- [22] 张婉晴, 王秀茹, 周杨. 滴灌条件下秸秆覆盖与施肥对夏玉米水肥利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6):139-146.
- [23] 吴立峰, 张富仓, 周罕冕, 等. 不同滴灌施肥水平对北疆棉花水分利用率和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(20):137-146.
- [24] 邢英英, 张富仓, 吴立峰, 等. 基于番茄产量品质水肥利用效率确定适宜滴灌灌水施肥量[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊 1):110-121.
- [25] 周罕冕, 张富仓, Roger K, 等. 水肥耦合对苹果幼树产量、品质和水肥利用的效应[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12):173-183.
- (上接第 269 页)
- [14] 刘星华, 王琦, 贾生海, 等. 栽培方式对旱作春玉米土壤酶活性及干物质积累和产量形成的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(9):73-81.
- [15] Dong C C, Ji H C, Yong I J, et al. Mulch and planting depth influence potato canopy development, underground morphology, and tuber yield [J]. Field Crops Research, 2016, 197: 117-124.
- [16] 王颖慧, 蒙美莲, 张静, 等. 覆膜方式对旱作马铃薯若干生理指标的影响[J]. 中国马铃薯, 2012, 26(6):336-340.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [18] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990:305-312.
- [19] Ghosh P K, Dayal D, Bandyopadhyay K K, et al. Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated summer groundnut[J]. Field Crops Research, 2006, 99(2): 76-86.
- [20] 赵元霞, 樊明寿, 贾立国, 等. 旱作马铃薯微垄覆膜侧播栽培模式的集雨效果[J]. 中国马铃薯, 2016, 30(2):80-86.
- [21] 吴从林, 黄介生, 沈荣开. 地膜覆盖在冬小麦全生育期内增温保墒作用的试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2001(8):7-9.
- [22] 井大炜. 地膜覆盖对杨树林下土壤生物学特征的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6):269-273.
- [23] Chen X L, Wu P, Zhao X, et al. Effect of different mulches on harvested rainfall use efficiency for corn (*Zea mays* L.) in semi-arid regions of Northwest China [J]. Arid Soil Research & Rehabilitation, 2013, 27(3): 272-285.
- [24] 李吾强, 温晓霞, 高茂盛, 等. 半湿润区旱作起垄覆膜沟播小麦的水分及生理效应研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(5):146-151.
- [25] Li Q, Li H B, Zhang S Q, et al. Yield and water use efficiency of dryland potato in response to plastic film mulching on the Loess Plateau [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science, 2017: 1-14.

表层 0—20 cm 土壤过氧化氢酶和脲酶活性,这与刘星华等^[14]在玉米上得到结论相近。土壤酶活性提高可归结于地膜覆盖和起垄改善农田生态微环境和土壤水热状况,形成良好的局部水肥气热条件,促进土壤养分的释放,进而提高土壤酶活性。

Chen 等^[23]研究表明,不同覆盖种植有效改善水分、温度,促进作物早期的生长。本研究表明,全覆膜和垄作不仅改善芽条生长,显著提高芽鲜重、根鲜重和芽粗,而且提高了各生育期马铃薯的根系活力,且以 A1 和 A3 改善效果最好。可能是覆膜垄作改善了土壤水热微环境,较好缓和了土壤旱情,从而促进马铃薯生长和根系活力提高。起垄覆膜沟播处理与传统平作相比,不仅 MDA 含量较低,而且提高也较缓慢^[24]。本研究表明,全膜垄作(A1、A2、A3)处理叶片 MDA 含量均低于 A4 和 CK。总之,当降雨较少时,全膜垄作起到集雨保水作用,有效降低了土壤水分蒸发,保持了相对较高的土壤水分含量降低对植株的干旱胁迫程度,有效降低了 MDA 含量,降低干旱对马铃薯植株胁迫作用。

Li 等^[25]研究表明,地膜覆盖提高了黄土高原旱作区马铃薯的产量和水分利用效率。本研究认为,全覆膜垄作显著提高马铃薯产量、降雨利用率和肥料偏生产力,且以 A1 和 A3 效果最佳。马铃薯的产品器官在地下,生长过程中需要培土,起垄能保证马铃薯根系的充分生长和块茎的膨大,覆膜能够起到很好集雨保墒作用,垄作栽培技术和覆膜措施的结合,能够提高土壤含水量、土壤酶活性,促进马铃薯生长,进而提高马铃薯产量。

4 结论

全膜垄作栽培增温保墒效果明显优于全膜平作和露地平作,其中以 A1 和 A3 处理效果最显著,与 CK 相比,土壤含水量分别增加 32.76%,42.92%,土壤温度分别提高 11.51%,6.87%。全覆膜和垄作降低 0—20 cm 土层土壤 pH,提高相应土层土壤过氧化氢酶和脲酶活性,均以 A1 和 A3 处理表现最好。

覆膜和垄作增加了芽鲜重、根鲜重和芽粗,提高根系活力,并且降低叶片 MDA 含量。覆膜和垄作显著提高马铃薯产量、降雨利用率和肥料偏生产力,不同处理作用效果为 A3>A1>A2>A4>CK,其中 A1 和 A3 处理产量分别提高 48.62%,52.85%,降雨利用率分别为 150.31,154.60 kg/(hm²·mm)。

因此,建议旱作农业地区采用全膜单垄垄上微沟播(A3)和全膜双垄垄上播(A1)种植技术,该技术具有明显的增温保墒、促进芽条生长和根系活力提高、延缓衰老、稳产增效的作用,可有效缓解长城沿线丘陵区春播地温

低、生育期降雨少和蒸发量大所带来的不利条件,对该区合理利用水资源具有重要现实意义。

参考文献:

- [1] 曾凡逵,许丹,刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015(4):233-243.
- [2] 吕巨智,染和,姜建初. 马铃薯的营养成分及保健价值[J]. 中国食物与营养,2009(3):51-52.
- [3] 郭晓霞,刘景辉,田露,等. 免耕轮作对内蒙古地区农田贮水特性和作物产量的影响[J]. 作物学报,2012,38(8):1504-1512.
- [4] Rockström J, Lannerstad M, Falkenmark M. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2007, 104(15): 6253-6260.
- [5] 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]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4): 241-249.
- [6] 任小龙,贾志宽,丁瑞霞,等. 我国旱区作物根域微集水种植技术研究进展及展望[J]. 干旱地区农业研究, 2010,28(3): 83-89.
- [7] Gu X B, Li Y N, Du Y D. Biodegradable film mulching improves soil temperature, moisture and seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Soil & Tillage Research,2017, 171: 42-50.
- [8] Haraguchi T, Marui A, Yuge K, et al. Effect of plastic-film mulching on leaching of nitrate nitrogen in an upland field converted from paddy [J]. Paddy Water Environment. 2004, 2(2): 67-72.
- [9] Qin S H, Zhang J L, Dai H L, et al. Effect of ridge-furrow and plastic-mulching cropping patterns on yield formation and water movement of potato in a semi-arid area [J]. Agricultural Water Management, 2014, 131(1): 87-94.
- [10] 王红丽,张绪成,宋尚有,等. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011,22(10):2609-2614.
- [11] 陈志君,孙仕军,张旭东,等. 东北雨养区覆膜和种植密度对玉米田间土壤水分和根系生长的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(1):224-229,235.
- [12] Ren X L, Chen X L, Jia Z K. Impacts of ridge-furrow rainfall concentration systems and mulches on corn growth and yield in the semiarid region of China [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(11): 3882-3889.
- [13] 舒英杰,周玉丽,张子学,等. 麻地膜与肥料互作对辣椒生长、土壤养分及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(2):175-180.