

不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤水热状况及其水分利用效率的影响

段义忠, 亢福仁

(榆林学院 生命科学学院, 陕西 榆林 719000)

摘要: 为研究旱作条件下马铃薯不同覆盖材料的土壤水热条件及其对产量与水分利用效率的影响, 在大田条件下, 设置普通地膜、秸秆、绿肥、液体地膜 4 种覆盖材料栽培方式, 测定其土壤含水量、耕层土壤温度和产量, 并计算各覆盖材料的水分利用效率。结果表明, 与传统裸地(CK)相比, 普通地膜、秸秆、绿肥、液体地膜覆盖材料处理下耕层土壤(0—25 cm)日平均温度提高 3.62, 2.01, 1.50 以及 2.38 °C; 各覆盖材料均可提高土壤含水率, 普通地膜、秸秆、绿肥、液体地膜覆盖较对照耕层土壤(0—25 cm)平均含水率增加 3.25%, 2.24%, 2.40% 以及 2.50%; 与对照相比, 各种覆盖材料可使马铃薯块茎产量分别增加 10.33%, 23.03%, 20.27% 及 27.17%; 不同覆盖材料水分利用效率大小为: 液体地膜 > 绿肥 > 秸秆 > 普通地膜 > 对照(CK)。液体地膜在土壤保水及对马铃薯产量的影响方面均具有显著效果。

关键词: 马铃薯; 覆盖材料; 水热效应; 产量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0055-05

中图分类号: S152.7

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20140928.003

Influences of Different Mulching Treatments on Soil Temperature, Water Content, and Water Use Efficiency of Dryland Planted with Potato

DUAN Yi-zhong, KANG Fu-ren

(College of Life and Science, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: In order to explore the water-thermal conditions of different mulching treatments, and their effects on potato yield and water use efficiency in arid and semi-arid area, the field experiment was conducted, which included common plastic film(CPF), straw(S), green manuring(GM), liquid film(LF) and bare land(CK). Soil water content, topsoil temperature, yield and water use efficiency of different mulching treatments were investigated. The results showed that, compared with the conventional tillage technique treatments, CPF, S, GM, LF increased soil daily mean temperature in 0—25 cm layer by 3.62 °C, 2.01 °C, 1.50 °C and 2.38 °C, respectively. The different mulching treatments increased the soil moisture. CPF, S, GM and LF could increased soil water content in 0—25 cm layer by 3.25%, 2.24%, 2.40% and 2.50%, respectively. Compared with CK, the tuber yield with the treatments of CPF, S, GM and LF increased by 10.33%, 23.03%, 20.27% and 27.17%. The descending order of water use efficiency of different mulching treatments was liquid film, green manuring, straw, common plastic film and CK. Therefore, liquid film had significant effect on soil water conservation and potato yield.

Keywords: potato; mulching materials; water-thermal effect; yield

作物的生长发育是在光、温、水、肥、土等各种生态条件适宜的情况下才能良好进行的, 作物的产量及其品质在很大程度上都受着自然条件的约束, 因此自然条件对于作物的生长发育及农业生产至关重要。

干旱和半干旱区域约占地球陆地总面积的 35%, 约为地球耕地总面积的 42.9%。在中国, 干旱和半干旱区域约占耕地总面积的 51%, 主要集中在北方^[1-2], 水分缺乏是旱作地区农业生产发展和生态环

收稿日期: 2014-03-03

修回日期: 2014-04-04

资助项目: 榆林市科技计划项目“马铃薯“生态地膜”高效节水栽培技术研究与示范”(Ny13-13); 榆林学院社科联基金项目“马铃薯液体地膜节水栽培技术研究与示范”

作者简介: 段义忠(1981—), 男(汉族), 内蒙古自治区多伦县人, 博士, 讲师, 主要研究方向为植物抗逆育种与生态农业。E-mail: duanyizhong2006@163.com。

境建设的主要障碍因素。发展节水农业不仅潜力巨大,而且对推动西北地区农业增产、农村经济发展、农民增收和生态环境建设将发挥巨大的作用^[3]。

地膜覆盖栽培技术在发展旱作农业方面具有巨大的潜力,因其在大气与土壤接触面间形成了一个隔离层,有效的防止了水分的直接逸散,覆盖措施可以有效地减少地面蒸发、储蓄自然降水^[4]。因此,有效地利用这一保水、节水技术可以大幅度提升干旱和半干旱区域的农业生产效率。早在 1936 年国外就开始了对于秸秆覆盖的研究,之后经大量研究和实践指出秸秆覆盖可以有效改善土壤物理条件,增强蓄水保墒能力,并能够增加作物产量^[5]。20 世纪中期,随着高分子化合物的发展,日本和欧美发达国家开始将塑料薄膜应用于农业生产。用极薄的聚乙烯薄膜取代了传统的稻草、马粪、蒿草、沙石等覆盖材料盖于地面,以达到保水、保肥、增温的目的,从而形成了塑料薄膜地面覆盖技术。塑料薄膜覆盖不仅能够使土壤水热状况得到有效改善,而且能够使作物的产量及水分利用效率明显提高^[6-8]。

榆林市位于毛乌素沙漠南部边缘,属沙漠与黄土的过渡地带,总耕地约为 $1.10 \times 10^6 \text{ hm}^2$,常用耕地约为 $6.37 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。该地区年平均降水量 316~513 mm,主要集中在秋季,故有“十年九旱”之称,属于典型的雨养农业区域。马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是茄科茄属块茎草本植物^[9-10]。多年的高产实践表明,榆林是中国 5 大马铃薯优生区之一。然而,“缺水”是该地区马铃薯产业发展存在的主要问题,通过推广旱作栽培技术、耐旱品种和保水、节水技术措施来实现该区农田水分的储蓄和高效利用是实现该区马铃薯产业可持续发展的重要途径。在该区域发展马铃薯生态环保地膜栽培技术对于根治农用地膜的污染和提高农作物产量,实现农业的可持续发展具有十分重要的现实意义。因此,本文选取普通地膜、秸秆、绿肥、液体地膜 4 种不同覆盖材料进行旱地马铃薯栽培试验,拟通过研究不同覆盖材料对土壤温度、水分和作物产量的影响,为该地区选择蓄水、保墒、环保无污染的覆盖材料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2013 年 4—9 月在陕西省榆林市马合农场试验站进行。该区域属于暖温带大陆性季风气候,平均气温 $8.17 \text{ }^\circ\text{C}$,极端最高温 $38.6 \text{ }^\circ\text{C}$,极端最低温达到 $-30.7 \text{ }^\circ\text{C}$,全年高于 $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 的活动积温为 $2\ 847.2 \sim 4\ 147.9 \text{ }^\circ\text{C}$,无霜期平均 140 d,年降水量 414 mm,

且多集中在 7,8,9 这 3 个月,四季分明,日照充足,为典型的半干旱生态类型。试验区土壤为壤沙土,0—30 cm 土壤基础养分为全氮 1.56 g/kg ,水解氮 84.3 mg/kg ,速效磷 34.8 mg/kg ,速效钾 104.5 g/kg ,pH 值 7.5。

1.2 试验设计

试验设置 5 个处理。第 1 组采用传统裸地栽培模式(对照 CK);第 2 组采用普通地膜覆盖栽培模式(CPF),地膜膜厚 0.015 mm,宽 80 cm;第 3 组采用绿肥覆盖栽培模式(GM),绿肥品种为紫花苜蓿,先期播种于沟中,收获后覆盖沟中与种薯的上方;第 4 组采用秸秆覆盖栽培模式(S),秸秆为玉米秸秆,放置于马铃薯播薯后的沟中与种薯的上方;第 5 组采用液体地膜覆盖栽培模式(LF),液体地膜产自浙江博龙生态科技有限公司。每个处理设置 3 个重复,完全随机区组排列。小区面积 22.8 m^2 ($3.8 \text{ m} \times 6 \text{ m}$),每小区 6 行,双垄栽培,垄距 50 cm,人工“品”字形点播,株距 30 cm,手工拔除杂草,马铃薯全生育期不追肥灌水。

1.3 测定指标与方法

(1) 土壤温度。采用曲形地温计,分别测定 5, 10, 15, 20 以及 25 cm 土层深度的温度,放置在两行马铃薯中间,测定时间分别在马铃薯苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期以及成熟期 5 个时期,选择在晴天的 8:00, 14:00 以及 20:00 各测 1 次,每个处理共测 3 个重复。

(2) 土壤含水量。采用传统的土钻取样烘干法测定,分别测定 0—20, 20—40, 40—60, 60—80 以及 80—100 cm 土层深度的含水量,取样点在两行马铃薯中间,测定时间分别在马铃薯苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期以及成熟期 5 个时期,每个处理共测 3 个重复。土壤体积质量的取样采用环刀法。

(3) 产量测定。马铃薯成熟后,按照小区收获,称取鲜薯重量。单位面积鲜薯产量(kg/hm^2) = 小区鲜薯产量/小区面积 $\times 10^4$,每个处理共测 3 个重复。

(4) 水分利用效率。水分利用效率为作物消耗单位水量生产出的生物产量,其表达式为:

$$\text{WUE} = Y_a / \text{ET} \quad (1)$$

式中: Y_a ——单位面积的经济产量 (kg/hm^2);
ET——作物耗水量; WUE——作物水分利用效率 [$\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$]

$$\text{ET} = P - \Delta W \quad (2)$$

式中: P ——降水量; ΔW ——时间段与时段初土壤储水量之差。

$$\text{土壤贮水量} : \nu = \rho \times h \times \omega \times 10 \quad (3)$$

式中: v ——土壤贮水量(mm); ρ ——所测地段土壤容量(g/cm^3); h ——所测土壤厚度(cm); ω ——土壤水分含量(%)。

气象数据由试验田所在地的农田小气候自动气象站获取。

1.4 数据方式

采用 Microsoft Excel 2010 对数据进行处理和绘图,并采用 SPSS 19.0 统计分析软件进行方差分析及差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤温度的影响

2.1.1 不同覆盖材料下土壤耕层平均温度变化 马铃薯全生育期的土壤平均温度随时间的变化如图 1 所示。不同覆盖材料下的马铃薯全生育期耕层土壤平均温度有差异。与传统裸地(CK)相比,普通地膜、秸秆、绿肥、液体地膜覆盖较对照耕层土壤(0—25 cm)日平均温度提高 3.62, 2.01, 1.50 以及 2.38 $^{\circ}\text{C}$ 。

在苗期,除对照外,绿肥覆盖的平均耕层温度较低;普通地膜覆盖以及与液体地膜覆盖的耕层温度较高,表明普通地膜与液体地膜具有显著提高地温的作用,其主要原因在于土壤被覆盖后,有效阻挡了太阳辐射,并阻挡了地表自身的长波辐射,从而使地表形成局部小气候。在马铃薯生育后期,普通地膜覆盖、绿肥覆盖方以及秸秆覆盖平均耕层温度较高,裸地与液体地膜覆盖平均耕层温度较低,主要原因在于液体地膜在马铃薯生育后期已经分解,因此平均耕层温度较低。

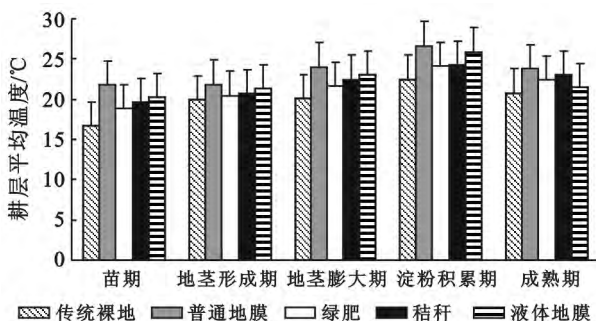


图 1 马铃薯全生育期不同覆盖材料下 0—25 cm 土层平均温度的变化

2.1.2 不同覆盖材料下土壤耕层温度的垂直变化特征 不同覆盖材料在早上(8:00)的温度垂直变化特征如图 2 所示。图 2 表明不同覆盖材料在土层 0—10 cm 的日变化差异显著,土层 10—25 cm 变化较小。地膜覆盖较对照有显著地增温效果,其中以普通

地膜覆盖土壤耕层温度最高,其次为秸秆覆盖与绿肥覆盖,液体地膜覆盖土壤耕层温度最低。

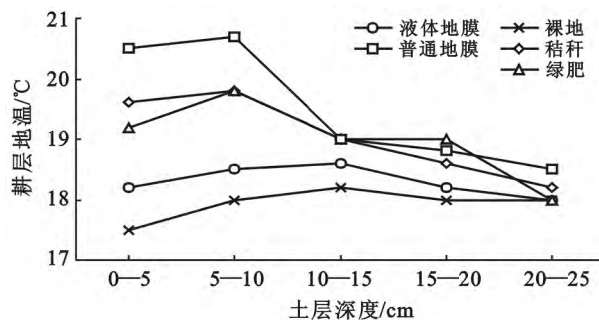


图 2 8:00 时刻不同覆盖材料下不同土层深度的土壤温度

图 3 为不同覆盖材料在中午(14:00)的温度垂直变化特征。不同覆盖材料下土壤耕层温度比较结果表明,随着太阳辐射与气温的提升,不同覆盖材料的土壤耕层温度出现了差异,其中以普通地膜覆盖土壤耕层温度较高,其次为液体地膜覆盖与对照,秸秆覆盖与绿肥覆盖土壤耕层温度较低。普通地膜覆盖与液体地膜覆盖较对照增温效果明显,而秸秆覆盖与绿肥覆盖较对照增温效果不明显,主要原因在于秸秆与绿肥在土壤上方形成了一道物理隔热层,阻碍了大气与土壤耕层之间的热量交换,并吸收了一定的太阳辐射,因而导致这两种覆盖材料增温效果不明显。

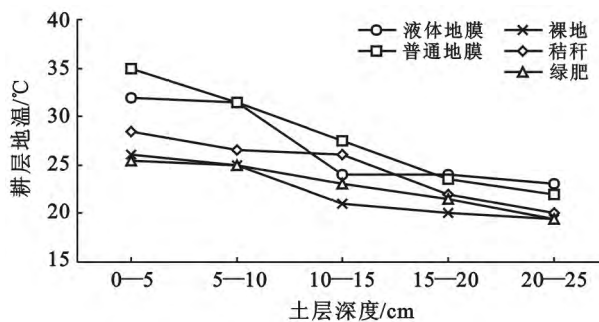


图 3 14:00 时刻不同覆盖材料下不同土层深度处的土壤温度

图 4 为不同覆盖材料在晚上(20:00)的温度垂直变化特征。不同覆盖材料下土壤耕层温度比较结果表明,随着太阳辐射与气温的下降,不同覆盖材料的土壤耕层温度也随着出现下降,其中对照温度下降最快,土壤耕层温度较低;其次为秸秆覆盖与绿肥覆盖,液体地膜与普通地膜覆盖土壤耕层温度较高。对比 8:00,14:00 以及 20:00 土层耕层温度变化,可以看出,各个覆盖材料下的 8:00 的土层耕层温度较低,14:00 的土层耕层温度最高,20:00 土层耕层温度的土层温度高于 8:00。

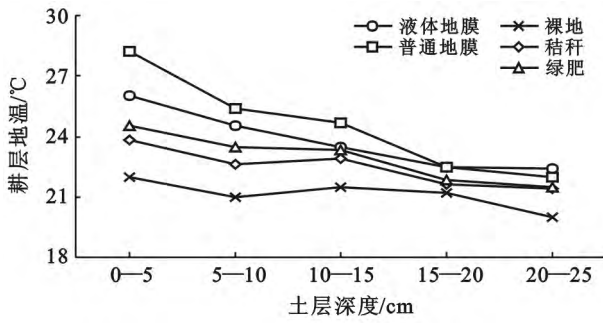


图 4 20:00 时刻不同覆盖材料下不同土层深度处的土壤温度

综上所述,各覆盖材料较对照均能有效提高土壤耕层温度,普通地膜覆盖与液体地膜覆盖增温效果明显,秸秆覆盖与绿肥覆盖增温效果较前两种覆盖不明显,但其土壤温度较稳定,对马铃薯生长发育有较大促进作用。

2.2 不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤水分的影响

2.2.1 马铃薯不同覆盖材料下土壤水分动态变化特征 马铃薯全生育期的土壤平均含水量变化随时间的变化如图 5 所示。图 5 表明,在马铃薯全生育期内的土壤平均含水量大小为:普通地膜覆盖>液体地膜覆盖>绿肥覆盖>秸秆覆盖>裸地栽培。普通地膜覆盖、秸秆材料覆盖、绿肥覆盖、液体地膜覆盖与比裸地栽培田间耕层平均含水量分别高出 3.25%, 2.24%, 2.40% 及 2.50%。各覆盖材料比对照的田间耕层平均含水量多的主要原因是由于覆盖材料形成了一层保护隔离层,减少了太阳辐射,有效调节了地温,减少了作物的蒸腾作用,但不同覆盖物对土壤水分含量的变化影响是不相同的。在苗期,由于春季少雨,蒸发量大,因此这一时期各覆盖材料的田间耕层平均含水量较低,至块茎形成期,随着降水的增多,

各覆盖材料的田间耕层平均含水量相对增加;在块茎膨大期,由于这一时期降水量相对偏少,且马铃薯处于生长旺盛时期,蒸腾作用较强,导致这一时期田间耕层平均含水量相对其它时期最少;在淀粉积累期至成熟期,随着降水量增加,马铃薯生长进入相对稳定阶段,田间耕层平均含水量逐渐增高,上述表明不同覆盖物都有一定的蓄雨保墒作用,但由于降雨、温度、作物自身的发育阶段所需水量的多少等因素影响,不同覆盖材料下的土壤含水量随时间出现一定的变化。

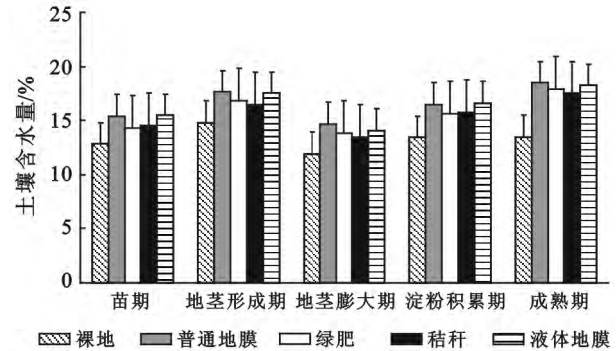


图 5 不同覆盖材料下土壤含水量在马铃薯全生育期的变化

2.2.2 马铃薯不同覆盖材料土壤水分垂直分布的影响

马铃薯不同覆盖材料土壤水分垂直分布在苗期、块茎形成期以及成熟期的田间耕层含水量如表 1 所示。表 1 表明在不同的覆盖材料下,田间耕层含水量在垂直分布差异较大,特别是在 0—60 cm,而 60—100 cm 田间耕层含水量在在垂直分布差异较小,0—20 cm 田间耕层含水量最低,耕层越深,含水量越大。普通地膜覆盖与液体地膜覆盖含水量较高,绿肥覆盖与秸秆覆盖含水量其次,裸地栽培含水量最低,各覆盖材料均有效提高了田间耕层含水量。

表 1 不同覆盖材料下马铃薯不同生育期不同土壤深度的土壤温度

土壤深度/cm	°C														
	传统裸地(CK)			普通地膜覆盖(CPF)			绿肥覆盖(GM)			秸秆覆盖(S)			液体地膜(LF)		
	苗期	块茎形成期	成熟期	苗期	块茎形成期	成熟期	苗期	块茎形成期	成熟期	苗期	块茎形成期	成熟期	苗期	块茎形成期	成熟期
0—20	4.75e	5.24e	7.85f	8.79d	11.65d	11.79d	7.83f	9.73d	10.48d	7.51f	9.47d	10.91d	8.54d	11.60d	11.59d
20—40	7.84f	12.54c	13.78c	13.75c	17.57b	18.31b	13.59c	16.65b	16.86b	12.86c	16.44b	16.16c	13.17c	17.56b	17.57b
40—60	10.27c	17.71b	18.43b	15.78c	18.30b	19.07a	15.74c	18.19b	18.79b	15.34c	17.95b	17.67b	15.27c	18.27b	18.81b
60—80	18.32b	18.55b	19.58a	18.92b	19.81a	20.13a	18.49b	18.83b	19.48a	18.37b	18.62b	18.76b	18.79b	19.47a	19.89a
80—100	19.19a	20.00a	20.07a	19.57a	20.01a	20.21a	19.58a	20.13a	20.17a	19.28a	20.02a	20.04a	19.52a	20.76a	20.72a

注:不同字母表示在 5%水平上的差异显著。下同。

2.3 不同覆盖材料对旱地马铃薯产量与水分利用效率的影响

不同覆盖材料的马铃薯产量与水分利用效率如

表 2 所示。普通地膜覆盖、秸秆覆盖、绿肥覆盖以及液体地膜覆盖与比裸地栽培产量分别提高了 10.33%, 23.03%, 20.27% 及 27.17%;水分利用效率

最高的是液体地膜覆盖,依次为秸秆覆盖、绿肥覆盖、普通地膜覆盖,最低的为裸地栽培。结合图 2 可知,普通地膜覆盖的田间耕层平均含水量较高,但是其最终产量只提高了 10.35%,远低于其他覆盖材料。

表 2 不同覆盖材料下马铃薯产量与水分利用效率

处理	土壤储水量/mm		降水量/ mm	耗水量/ mm	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·m ⁻³)
	播前	收获				
传统裸地(CK)	311.1a	235.5b	382.5a	306.9b	13427cd	43.75b
普通地膜覆盖(CPF)	311.5a	353.7a	382.5a	336.3b	14814c	44.05b
绿肥覆盖(GM)	312.9a	314.4a	382.5a	381.0a	16519a	43.36b
秸秆覆盖(S)	310.6a	327.3a	382.5a	365.8a	16148ab	44.14b
液体地膜(LF)	311.2a	347.7a	382.5a	336.0b	17075a	50.82a

3 结论

水分是限制干旱半干旱地区作物生长发育的最重要的生态因子,因此提高作物水分利用效率已成为干旱半干旱地区的主要问题。覆盖作为一种传统的蓄水保墒农作措施已广泛应用于小麦、玉米、马铃薯等作物。目前应用的覆盖材料主要以塑料地膜以及玉米秸秆为主,塑料地膜具有透光性好,不透气等特点,能显著提高地温;玉米秸秆具有透光性差,通气性良好,能充分利用自然降水,集雨效果较好^[11-14]。近年来,地膜覆盖材料研究有了很大进展,特别是生物降解膜、液体地膜以及渗透地膜等。生物降解膜以及液态地膜覆盖较塑料地膜覆盖更有利于雨水向土壤中渗入,保持土壤水分,并能自然降解,减少环境污染^[15]。此外,绿肥覆盖实现了土壤温湿度与土壤养分相结合,具有提高土壤的保水保肥能力,改变了作物生长的微环境。汤瑛芳等^[16]研究了旱地马铃薯不同覆盖种植的土壤水热效应及其对产量的影响,高垄膜覆盖沟覆草垄播方式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,范士杰等^[17]研究了不同栽培方式对马铃薯田间土壤温湿度及产量的影响,表明地膜覆盖且施绿肥栽培方式能显著提高西南高寒山区春播马铃薯的耕层土壤温度和水分含量,尤以播后初期最明显,可以有效地缓解当地春播马铃薯的低温和干旱,达到高产、高效、可持续发展目的。目前关于生物降解膜与液体地膜相关作物的研究也较多,张杰等^[18]研究了环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响,指出生物降解膜的成本较塑料地膜低,且覆盖效果和塑料地膜无显著差异,液态地膜覆盖较塑料地膜覆盖更有利于雨水向土壤中渗入,保持土壤水分,并能自然降解,减少环境污染,因而具有广泛推广的价值。杨青华等^[19-20]对液体地膜的研究表明,液态膜覆盖与裸地种植相比,增产幅度能达到 21.7%。

本研究结果表明,不同覆盖材料均能提高田间耕层平均含水量,在不同生育阶段,各覆盖材料下的土壤含水量有差异,液体地膜在马铃薯生育前期与其他覆盖材料的土壤含水量接近,在生育后期,由于液体地膜存在降解效应,其土壤含水量低于其他覆盖材料,略高于对照;不同覆盖材料都可以有效提高地温,较对照含水量增加了 3.25%,2.24%,2.40%以及 2.50%;不同覆盖材料较对照产量均提高,其中以液体地膜产量增加最多,普通地膜增加最少,主要原因在于马铃薯属喜凉作物,高温对其生长发育产生了一定的阻碍作用,因此其增产效果最低;不同覆盖材料较对照均能提高土壤水分利用效率,液体地膜的土壤水分利用效率最高,其次为秸秆覆盖与绿肥覆盖,最低是普通地膜覆盖与传统裸地;秸秆覆盖与绿肥覆盖能有效的防止地表径流,蓄水、保水以及保肥能力明显,因此本研究表明液体地膜对旱地马铃薯具有明显的蓄水和保墒作用,增产幅度能达到 23.7%,可以有效减轻田间塑料薄膜的污染。

[参 考 文 献]

- [1] 罗志成. 北方旱地农业研究的进展与思考[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(1): 1-11.
- [2] 聂峻峰, 韩清芳, 问亚军. 我国北方农业旱灾的危害特点与减灾对策[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 172-178.
- [3] 赵谦. 甘肃中部旱作区马铃薯膜侧沟播栽培技术[J]. 中国农技推广, 2009, 25(5): 17-18.
- [4] 党延辉, 郭栋, 戚龙海. 旱地地膜和秸秆双元覆盖栽培下小麦产量与水分效应[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 20-24.
- [5] Triki M A, Priou S, Mahjoub M E. Effects of soil solarization on soil-borne populations of *Pythium aphanidermatum* and *Fusarium solani* and on the potato crop in Tunisia [J]. *Potato Research*, 2001, 44(3): 271-279.
- [6] 柴武高, 段志山, 吴海燕. 旱地马铃薯全膜双垄集雨沟播栽培技术[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(5): 311-312.

(下转第 66 页)

- 学报,2007,29(3):60-66.
- [6] 郝占庆,郭水良.长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析[J].生态学报,2003,23(10):2001-2008.
- [7] 沈泽昊,方精云,刘增力,等.贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析[J].植物生态学报,2001,25(6):721-732.
- [8] 沈泽昊,刘增力,伍杰.贡嘎山东坡植物区系的垂直分布格局[J].生物多样性,2004,12(1):89-98.
- [9] 郝占庆,郭水良.长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析[J].生态学报,2003,29(10):2000-2008.
- [10] 何芝玲.不同类型毛竹林林下植被的发育状况及其与土壤养分关系的研究[D].浙江 富阳:中国林业科学研究院亚热带林业研究所,2000.
- [11] 方精云,沈泽昊,唐志尧.“中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J].生物多样性,2004,12(1):5-9.
- [12] 王永繁,余世孝,刘蔚秋.物种多样性指数及其分形分析[J].植物生态学报,2002,26(4):391-395.
- [13] 王萍.马尾松人工林地理化性状及施肥效应的初探[D].福州:福建农林大学,2008.
- [14] 李晶.落叶松人工林生长与立地因子关系的研究[J].林业科技,1991,16(2):8-12.
- [15] 刘金福,洪伟,李俊清,等.格氏栲群落林窗边缘效应研究[J].应用生态学报,2003,14(9):1421-1426.
- [16] 王周平,李旭光,石胜友,等.缙云山森林林隙与非林隙物种多样性比较研究[J].应用生态学报,2003,14(1):7-10.
- [17] 贺金生,陈伟烈.陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征[J].生态学报,1997,17(1):91-99.
- [18] 李晶.落叶松人工林生长与立地因子关系的研究[J].林业科技,1991,2(16):7-10.
- [19] 曹云生,杨新兵,张伟,等.冀北山区森林群落草本多样性及其与地形关系研究[J].生态环境学报,2010,19(12):2840-2844.

(上接第 59 页)

- [7] 王圣瑞,高炳德,焦燕,等.地膜覆盖及地膜氮肥交互作用对旱地春玉米土壤速效氮含量的影响[J].华北农学报,2001,16(专辑):38-43.
- [8] 梁东超,李文刚,巩秀峰.覆膜对马铃薯种薯生产的影响[J].内蒙古农业科技,1998(S):67-68.
- [9] 吴艳倩,徐建飞,马丽娜.马铃薯抗低温糖化育种研究进展[J].中国马铃薯,2012,26(2):108-115.
- [10] 贾晶霞,杨德秋,李建东,等.中国与世界马铃薯生产概况对比分析与研究[J].农业工程,2011,1(2):84-86.
- [11] 郝玉梅.旱作马铃薯微垄覆膜集雨沟播栽培技术[J].农业科技与信息,2006(9):4-5.
- [12] 王桂清,王利凤,赵方昉,等.旱地覆膜马铃薯效应试验研究[J].内蒙古农业科技,2000(S):10-11.
- [13] 郑有才,杨祁峰.不同覆盖模式对旱作马铃薯生育期及土壤含水量的影响[J].安徽农业科学,2008,36(20):8462-846.
- [14] 曹晋军,刘永忠,李万星,等.不同覆盖方式对土壤水热状况和玉米水分利用效率的影响[J].中国农学通报,2013,29(33):107-111.
- [15] 李荣,王敏,贾志宽,等.渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响[J].农业工程学报,2012,28(2):106-117.
- [16] 汤瑛芳,高世铭,王亚红,等.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[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):1-8.
- [17] 范士杰,王蒂,张俊莲,等.不同栽培方式对马铃薯田间土壤温湿度及产量的影响[J].农业工程学报,2011,27(11):218-221.
- [18] 张杰,任小龙,罗诗峰,等.环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(6):14-19.
- [19] 杨青华,韩锦峰,贺德先,等.液体地膜覆盖保水效应研究[J].水土保持学报,2004,18(4):29-32.
- [20] 杨青华,韩锦峰,贺德先,等.液体地膜覆盖棉花高产机理研究[J].中国农业科学,2008,41(8):2520-2527.