

DOI: 10.5846/stxb201409301936

路海东, 薛吉全, 郝引川, 高杰. 黑色地膜覆盖对旱地玉米土壤环境和植株生长的影响. 生态学报, 2016, 36(7): - .

Lu H D, Xue J Q, Hao Y C, Gao J. Effects of black film mulching on soil environment and maize growth in dry land. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(7): - .

黑色地膜覆盖对旱地玉米土壤环境和植株生长的影响

路海东, 薛吉全*, 郝引川, 高 杰

西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100

摘要:针对渭北旱塬地区使用普通白色地膜导致玉米生长出现的早衰、减产等问题, 2012—2013 年开展了黑色地膜覆盖、白色地膜覆盖和裸地玉米栽培试验, 系统分析了黑色地膜对土壤温度、水分和玉米生长的影响。结果表明, 黑色地膜与白色地膜的土壤保水效果相同, 均使 0—120cm 土壤水分含量显著 ($P<0.05$) 高于裸地对照。与白色地膜覆盖相比, 黑色地膜覆盖能够有效降低 0—15 cm 土壤白天温度, 可以使白天 0—15cm 土壤日地温平均降低 0.8℃。黑色地膜覆盖后, 玉米的籽粒灌浆期延长, 吐丝后单株干物质积累量快速增加。玉米生殖生长期较裸地栽培延长 2—3 d, 成熟期单株干物质积累量增加 18.11%; 较普通白色地膜覆盖玉米生殖生长期延长 2 d, 成熟期单株干物质积累量提高 7.31%。黑色地膜覆盖玉米产量和水分利用效率显著提高 ($P<0.05$), 较白色地膜分别提高 10.36% 和 10.40%, 较裸地对照分别提高 22.11% 和 25.28%。在旱地春玉米区, 用黑色地膜代替普通白色地膜, 对促进玉米增产具有一定的可行性。

关键词: 玉米; 黑色地膜; 土壤温度; 土壤水分; 生长

Effects of black film mulching on soil environment and maize growth in dry land

LU Haidong, XUE Jiquan*, HAO Yinchuan, GAO Jie

College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

Abstract: The effects of black plastic film on soil temperature, moisture and maize growth were studied in the context of senescence and yield in comparison to the ordinary white plastic used in the Weibei area. The results showed that the black and white plastic provided the same degree of soil moisture retention of 0—120cm, significantly greater than the retention in bare land. Black plastic mulch could reduce the diurnal soil temperature; in comparison to white plastic film, it reduced the daily temperature variation in the 0—15cm soil to 0.8℃. Black plastic mulch could promote maize dry matter accumulation after spinning stage and extend reproductive growth. Unlike the growth in bare land cultivation, the reproductive growth period in maize could be extended by 2—3 days and the dry matter accumulation could increase by 18.11% at maturity. Compared with the ordinary white plastic film, black plastic prolonged the reproductive growth period by two days and increased the dry matter accumulation by 7.31% at maturity. Yield and water-use efficiency of maize grown with black plastic mulch increased by 10.36% and 7.39% in comparison to white plastic, and by 22.11% and 25.28% in comparison to bare land ($P<0.05$). In this area, it may be possible to increase maize yields by replacing the ordinary white plastic film with black plastic film.

Key Words: maize; black film; soil temperature; soil moisture; growth

基金项目: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201203031-07); 陕西省科技攻关项目 (2013K01-11); 西北农林科技大学基本科研业务专项 (Z109011111)

收稿日期: 2014-09-30; **网络出版日期:** 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjq2934@163.com

地膜覆盖作为一种农作物增产、增收的重要技术,它不仅具有明显的保墒作用^[1],还可以防止土壤流失、控制土壤盐碱度^[2],对于旱半干旱地区的农业生产具有重要意义。但是,随着全球气候变化所引起的降雨量减少,年季间变异幅度大、时空分布不均等因素影响^[3],普通白色地膜覆盖在半干旱地区所产生的许多负面效应不断显现^[4]。张冬梅等^[5]研究认为,地膜覆盖提高了土壤地温,玉米生育期明显提前,在玉米抽雄前后遭遇了重伏旱,导致玉米严重减产。韩思明^[6]和杜延军^[7]研究发现,地膜覆盖春小麦产量随着地墒的增加产量显著增加,在地墒较低时产量反而下降。李世清等^[8]研究认为,普通地膜覆盖的增产作用在一定程度上是以耗竭土壤有机质和养分为代价的,长期连续覆盖会导致作物后期土壤养分不足,根系早衰,作物产量下降。Li F M 等^[9]和 Zaogo C C L 等^[10]研究认为,地膜覆盖有时因作物生长前期土壤水分和养分耗竭严重,后期会出现严重的脱水、脱肥早衰现象^[9-10],导致减产^[9]。玉米早衰已经成为旱地地膜玉米高产的主要障碍,成为玉米生产中的一大难题。为了防止作物后期早衰,不少地区采取了作物生长后期揭膜的增产措施^[3],但由于作物生长后期操作难度大和工作量大的原因而影响了推广。

乌瑞祥等^[11]研究认为,半干旱地区作物生产的主要障碍因子是降水量,玉米生产应以“调水说”来指导播种,只注重增温不重视调水,作物增产效果不显著,甚至减产。在光热资源丰富的雨养旱区,普通白色地膜覆盖虽然可以有效保墒,但是由于其明显的增温作用所造成的作物早衰不容忽视。面对这一问题,许多学者也开展了秸秆等覆盖方式研究^[12-14],但从保水效果来看,远不及地膜覆盖^[14]。因此,开展防止普通白色地膜覆盖造成的玉米后期“早衰”现象研究,已成为进一步提高旱区玉米产量的新课题。

黑色地膜除具有普通白色地膜提高地温、保墒等作用外,由于黑膜透光率低,辐射热透过少,在夏季应用可以较白色地膜降低地温,还能更好地限制各种杂草的生长。因此,在马铃薯^[15]、甘薯^[16]、棉花^[17]、番茄^[18]及其他蔬菜^[19-20]、果树^[21]等作物上得到了广泛应用,增产效果显著。但针对玉米的应用研究鲜有报道。本文针对西北旱地玉米使用普通白色地膜后,容易造成后期玉米“早衰”现象,引用黑色地膜,开展覆盖后的土壤水温效应及玉米产量形成机理研究,为旱地玉米选择适宜地膜,促进玉米进一步增产增效提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012 年—2013 年在陕西长武县西北农林科技大学玉米试验基地(N:34°59';E:107°38')进行,试验地海拔 1220 m,年均降水 580 mm,平均温度 9.1℃,无霜期 171 d,地下水位 70 m,无灌溉条件,土壤类型为黑垆土,土壤 0—20 cm 含有机质 11.56g/kg、速效氮 46.66 g/kg、速效磷 16.94 g/kg、速效钾 122.35g/kg。2012 年和 2013 年的降雨情况如图 1,年降雨量分别为 483 mm 和 458 mm,降雨时空分布不均,主要集中于 7、8、9 三个月。

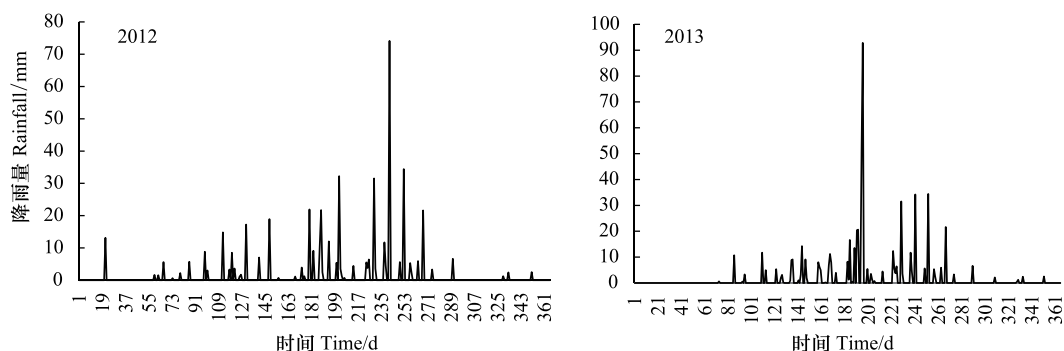


图 1 陕西省长武县 2012 和 2013 年的降雨量

Fig. 1 The rainfall of 2012 and 2013 years at Changwu of Shaanxi Province

1.2 试验设计

试验以春玉米(*Zea mays* L.)为研究材料,品种为陕单 609。完全随机区组设计,设黑色地膜覆盖,普通白色地膜覆盖和裸地(CK)3 个处理,每处理 4 次重复。播种密度为 60000 株/hm²。试验小区行长 6 m,行距 60 cm,小区面积为 6 m×3.0 m=18m²。2012 年于 4 月 20 日播种,9 月 25 日收获;2013 年于 4 月 21 日播种,9 月 28 日收获。

试验播种方式依照当地习惯种植进行播种,施肥量为纯氮 255 kg/hm²,纯磷 120 kg/hm²。磷肥作为底肥一次深施,氮肥分期施用(底肥 40%,追肥 60%),种植与管理方式同当地普通大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生育期

观测记载玉米播种、出苗、拔节、大喇叭口、吐丝、成熟等主要生育时期对应的准确日期。

1.3.2 干物质生产

拔节、大喇叭口、吐丝、吐丝 25 天后和成熟期测定玉米干物质积累量,每处理取样 5 株,分茎、叶、鞘、雄穗、雌穗,于 105℃ 杀青 15 min,然后 80℃ 烘干至恒量。计算玉米单株干物质积累量。

1.3.3 土壤地温

在拔节期、吐丝期、吐丝 25 天和成熟期(以黑色地膜覆盖处理为准),采用曲管地温计测定各处理 0—15cm 土壤的温度日变化,观测时间为 8:00—18:00,每 2 小时观测 1 次。

1.3.4 土壤水分

于玉米播种前、拔节期、吐丝期、吐丝 25 天(以黑色地膜覆盖处理为准)和收获后,用烘干法测定^[22]不同处理小区 0—200 cm 土层的土壤含水量,每 20 cm 取一个样,并记载玉米播种至成熟的田间降雨量。粮食作物产量水分利用效率定义为作物产量 Y (kg/hm²)与农田耗水量 ET (mm)的比值,即 $WUE = Y/ET$,根据农田水量平衡原理: $ET = W_{\text{播前}} - W_{\text{收获}} + I + P + G$,则有 $WUE = Y / (W_{\text{播前}} - W_{\text{收获}} + I + P + G)$,式中 $W_{\text{播前}}$ 为播种前土壤贮水量(mm); $W_{\text{收获}}$ 为收获时土壤贮水量(mm); I 为生育期灌水量(mm); P 为生育期降水量(mm); G 为作物利用地下水水量(mm)。试验地无灌溉条件,因此 $I=0$ 。研究区地下水埋深 70 m,因此 $G=0$ 。

1.3.5 产量

成熟期调查小区实有株数、空秆率、鲜穗重、单株干重和病害情况,收获时调查小区果穗产量,同时选取 20 个代表性果穗进行室内考种,调查穗长、穗粗、穗行数、行粒数等穗部性状。根据 20 穗折干率计算小区籽粒产量,并折算成标准产量。

1.4 数据分析

数据利用 Excel 作图、SAS 8.0 和 SPSS12.0 统计分析软件进行方差分析、采用 LSD (least significant difference)多重比较。

2 结果分析

2.1 不同地膜覆盖对土壤温度的影响

2012 年和 2013 年玉米不同生育阶段各处理 0—15 cm 的土壤平均温度日变化均呈低-高-低的曲线形态(图 2),从早晨 8:00 开始,随着气温的升高,地温逐渐升高,到下午 14:00 以后又开始逐渐回落。从不同处理来看,地膜覆盖处理明显高($P<0.05$)于裸地对照;但不同颜色地膜间比较,黑色地膜覆盖的 0—15cm 土壤日地温明显($P<0.05$)低于普通白色地膜,平均较白色地膜低 0.8℃,尤其是在中午气温较高时,黑色地膜的降温效果越加明显($P<0.01$)。可见,与白色地膜相比,黑色地膜覆盖能够有效降低 0—15cm 土层的土壤温度,尤其是白天高温时期的土壤温度,土壤温度日变化幅度较小,有利于玉米生长。

就不同生育时期来看,玉米拔节期和成熟期不同地膜覆盖处理的土壤温度差异较大,土壤温度日变化幅度较大,吐丝期和吐丝 25 天的差异相对较小。这可能是由于玉米生长前期和后期地面覆盖度较低,群体透光

性高,不同地膜覆盖后由于对光的吸收程度不同,造成黑色地膜的土壤温度显著 ($P<0.05$) 低于白色地膜覆盖;而吐丝期到吐丝 25 天时,由于玉米植株叶片茂密,地面覆盖度高,光照大部分被玉米叶片等吸收,地面透光率较低,地膜增温作用减弱,所以不同处理的土壤温差较小。可见,与白色地膜覆盖相比,黑色地膜的降温效果主要是通过对太阳光的吸收辐射不同造成的,在太阳辐射较强的渭北旱作雨养区,黑色地膜较白色地膜具有良好的土壤降温效果。

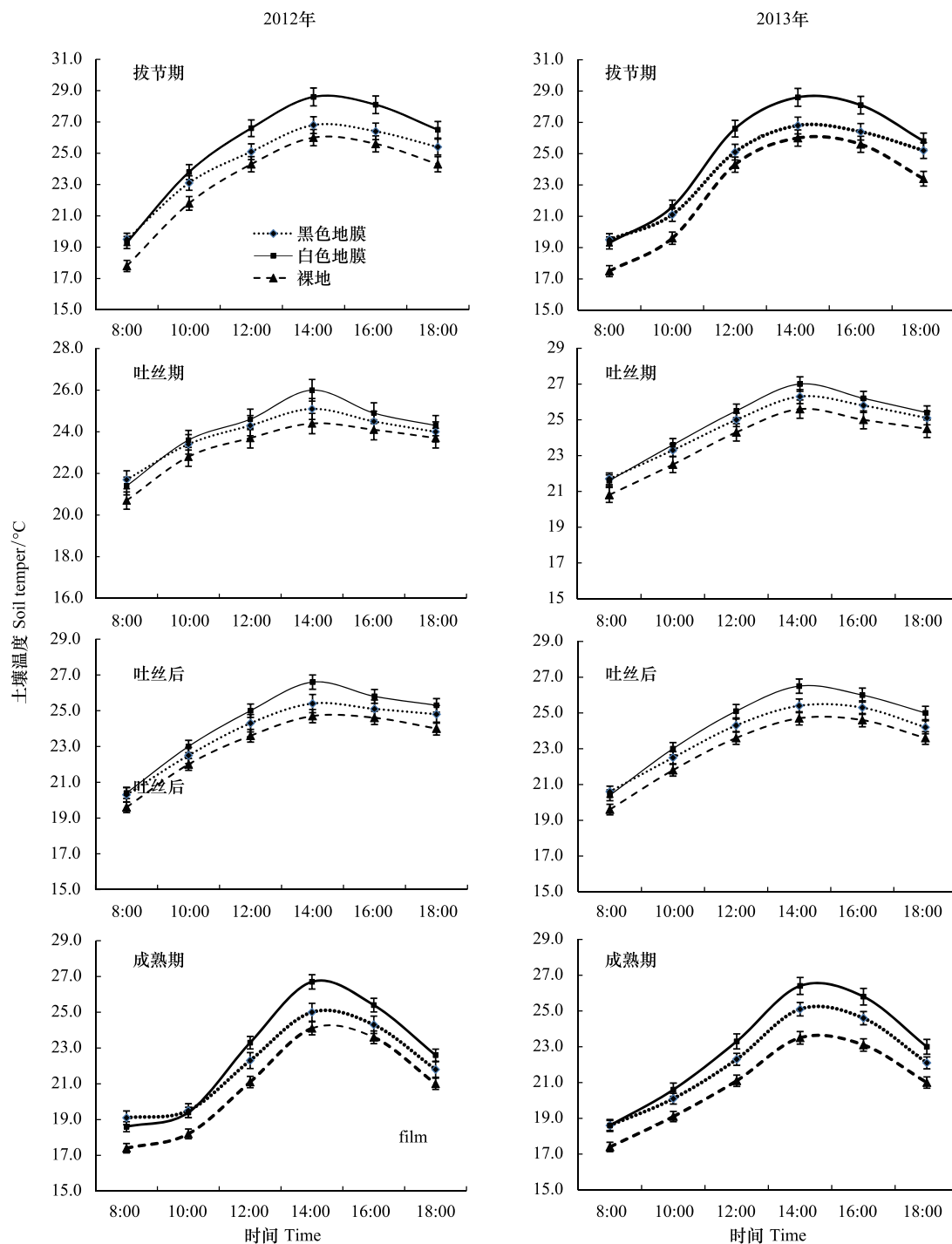


图2 不同处理在玉米拔节期(A,B)期、吐丝期(C,D)、吐丝后25天(E,F)和成熟期(G,H)的地表下0—15cm土壤平均温度日变化
Fig. 2 Changes of soil temperature at average of 0—15 cm below surface under different treatments at jointing stage (A, B), spinning stage (C, D), 25 days after spinning stage (E, F) and mature stage (G, H)

2.2 不同地膜覆盖对土壤质量含水率的影响

图 3 是 2012 年和 2013 年不同处理的土壤含水率变化。从图中可以看出,黑色地膜覆盖和白色地膜覆盖 0—200 cm 土壤含水率基本相同,没有明显差异,但均高于裸地处理,平均较裸地提高 1.39 个百分点;尤其在 0—20 cm 土层,覆膜处理与裸地间差异显著 ($P<0.05$),覆膜处理较裸地土壤含水率提高 1.83 个百分点。可见,黑色地膜覆盖与白色地膜覆盖具有相同的保水效果,较裸地可以明显提高土壤的质量含水率,尤其在 0—120 cm 土层。

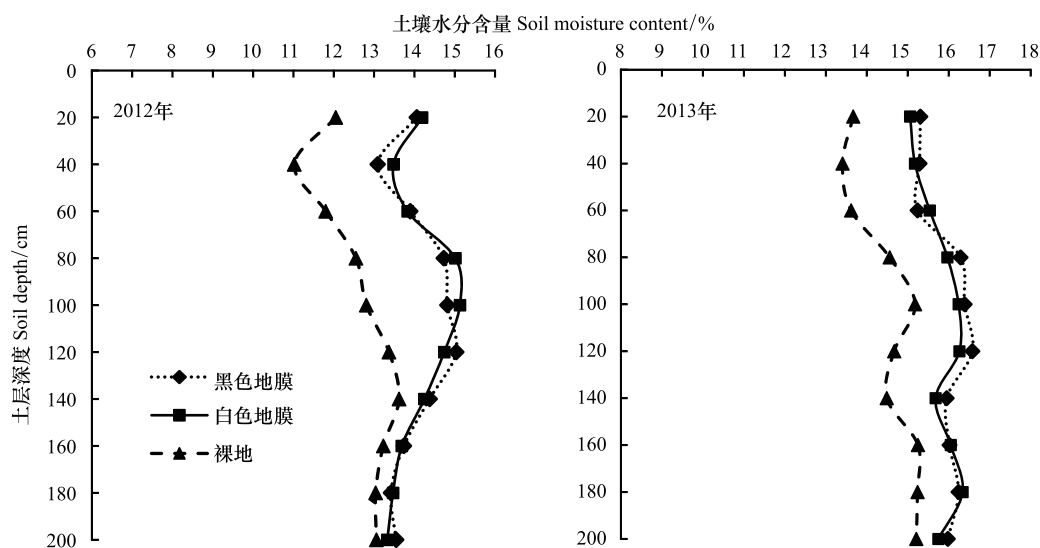


图 3 不同处理 2012 和 2013 年全生育期土壤含水率变化

Fig. 3 Soil moisture content of different treatments during whole stage in 2012 and 2013

图中的土壤水分含量为当年不同生育时期测定值的平均值。

2.3 不同地膜覆盖对玉米生长的影响

2.3.1 生育期

不同覆盖处理下玉米的生育进程明显不同(表 1)。地膜覆盖处理的出苗天数较裸地缩短 1 d 左右,拔节期较裸地缩短 2 d 左右,2 种地膜之间没有明显差异。但从大喇叭口期开始,2 种地膜之间出现明显不同,黑色地膜处理从播种到大喇叭口期的天数较裸地缩短 2 d,而白色地膜缩短 3 d,吐丝期和灌浆期黑色地膜较裸地缩短 3 d,而白色地膜缩短 4—5 d;就整个生育期来看,黑色地膜的生育期与裸地基本相当,而白色地膜的生育期较短,较裸地缩短 4 d。从玉米生殖生长时间(吐丝到成熟)来看,黑色地膜为 64 d,白色地膜为 62 d,普通裸地为 61—62 d,黑膜较裸地延长 2—3 d,较白膜延长 2 d。这可能主要是由于黑色地膜较白色地膜具有明显降温的效果,较裸地具有明显的保墒效果,从而减缓了玉米的根系和植株衰老,增加了玉米的生殖生长期,进而延长了玉米籽粒灌浆时间。

表 1 不同地膜覆盖下玉米的生育进程(播种后天数) d

Table 1 Growth process of maize under different films treatment (days after sowing)

年份 Year	处理 Treatment	出苗期 Emergence	拔节期 Jointing	大喇叭口期 Large bell mouth	吐丝期 Spinning	成熟期 Mature
2012	黑色地膜	14b	47b	77b	92b	156a
	白色地膜	14b	47b	76c	90c	152b
	裸地 CK	15a	49a	79a	95a	156a
2013	黑色地膜	13b	48b	78b	93b	157a
	白色地膜	13b	48b	77c	92c	154b
	裸地 CK	14a	50a	80a	96a	158a

2.3.2 干物质积累

玉米单株干物质积累量随生育进程的发展呈 Logistic 曲线变化(图 4),地膜覆盖的 2 个处理玉米不同生育时期的单株干物质积累量均明显($P<0.05$) 高于对照裸地处理;不同覆膜处理比较,在玉米吐丝以后,黑色地膜处理的单株干物质积累量明显($P<0.05$) 高于白色地膜处理和裸地,尤其在成熟期,黑色地膜处理的玉米单株干物质积累量显著($P<0.05$) 高于白色地膜和裸地,较白色地膜和裸地分别增加 7.31%和 18.11%。可见,黑色地膜由于具有保墒和降低地温的作用,从而可以有效延缓旱地玉米由于裸地保水不足和普通白色地膜增温所引起的衰老,增加玉米干物质积累。

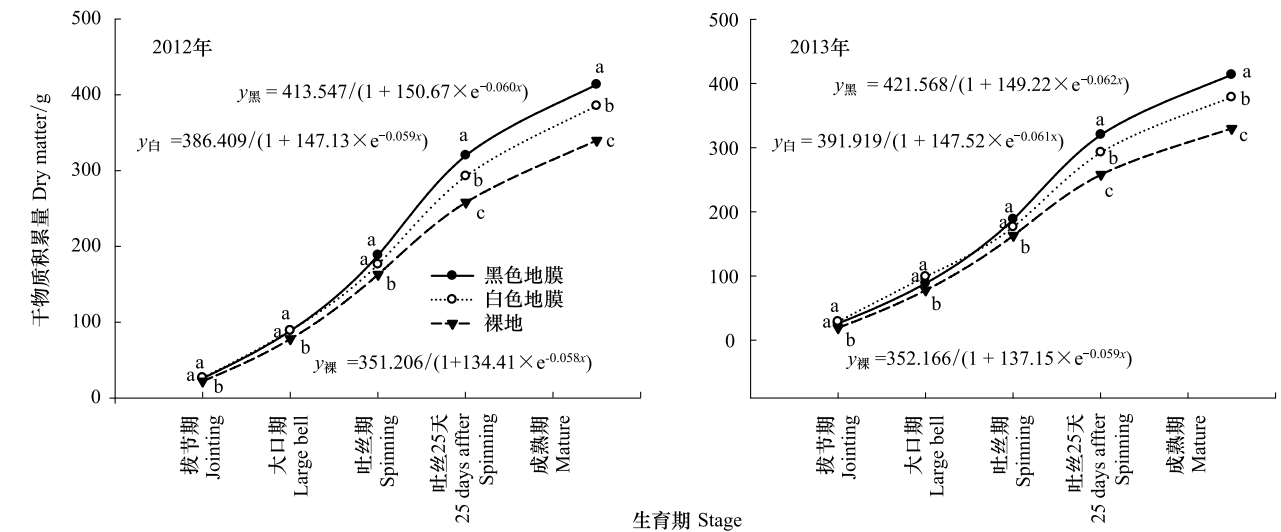


图 4 不同处理玉米单株干物质积累量的变化

Fig. 4 Changes of the dry matter accumulation per plant of maize in different treatments

图中的土壤水分含量为当年不同生育时期测定值的平均值。

2.4 不同地膜覆盖对玉米产量及水分利用效率(WUE)的影响

不同覆盖处理间产量和水分利用效率(WUE)差异显著(表 2),黑色地膜覆盖处理 2 a 的产量均显著($P<0.05$) 高于白色地膜和裸地,较白色地膜平均增产 10.36%,较裸地增产 22.11%;就产量构成因素穗粒数和千粒重的变化来看,穗粒数各处理间没有显著差异,但千粒重差异显著,黑色地膜显著($P<0.05$) 高于白色地膜和裸地处理。从耗水量来看,黑色地膜覆盖和白色地膜覆盖间没有明显差异,但显著($P<0.05$) 低于裸地对照,说明 2 种地膜具有同样的保水效果,且较裸地可以明显减少土壤水分无效蒸发。就玉米产量水分利用效率来看,黑色地膜显著($P<0.05$) 高于白色地膜和裸地,2 a 平均 WUE 分别较白色地膜和裸地分别提高10.40%和 25.28%。

表 2 不同处理的玉米产量、产量构成、生育期耗水量及水分利用效率

Table 2 The yield, water consumption and water use efficiency in growth period of different treatment						
年份 Year	处理 Treatment	产量 Yield/ (kg/hm ²)	穗粒数/ (穗/粒)	千粒重/ (g/1000 粒)	耗水量 ET/ (mm)	水分利用效率 WUE/ (kg hm ⁻² mm ⁻¹)
2012	黑膜	10097.34 a	603.2a	348.8a	437.04 b	23.10 a
	白膜	9212.17 b	598.7a	333.6b	436.10 b	21.12 b
	裸地 CK	7827.69 c	594.5a	300.9c	450.11 a	17.39 c
2013	黑膜	11320.65 a	622.2a	352.4a	438.18 b	25.83 a
	白膜	10188.40 b	616.6a	334.2b	439.62 b	23.18 b
	裸地 CK	9825.68 c	620.7a	309.6c	447.86 a	21.94 c

3 讨论

玉米是感温作物,对温度反应十分敏感,如遇高温环境玉米会出现徒长,同时由于呼吸消耗量大于光合物质积累量,玉米体内营养出现逆差,就会导致早衰。在渭北旱地,水分是影响产量的主要因子,普通白色地膜覆盖在保水的同时由于地温的升高往往容易造成玉米生长过快,生育期缩短,产量降低^[3-5]。本研究发现,采用黑色地膜覆盖后,土壤的保水效果与普通白色地膜相同,而玉米田白天 0—15 cm 土壤日地温平均较普通白色地膜降低 0.8℃。这与周丽娜^[15]、Miles. C^[18]、Diaz-Perez^[20]等在马铃薯等作物上的研究结果一致,关于黑色地膜覆盖土壤的降温机理等还有待进一步研究。

相关研究认为,旱地地膜覆盖玉米应以“保墒”作为前提来充分发挥地膜覆盖的作用^[6-7],在春播晚熟玉米区,玉米可以正常成熟,采用地膜覆盖栽培,反而使玉米抽雄期提早到旱季,影响结实造成减产^[5]。本研究结果表明,黑色地膜覆盖玉米的大喇叭口期、吐丝期较普通白色地膜覆盖推迟 1—2 d,整个玉米生育期较普通白色地膜覆盖延长 3—4 d,与裸地栽培基本相同。开花后是作物籽粒产量形成的关键时期,同时也是叶片功能开始衰退的时期^[23]。玉米籽粒中 70% 以上的同化物质来源于叶片灌浆期间光合物质生产^[24],因此,选育营养生长期长,生殖生长期短的品种^[25],维持玉米生育后期叶片较高的生理活性是获得高产的保障^[26]。本研究结果表明,采用黑色地膜覆盖后,前期玉米生长迅速,玉米的营养生长期较裸地缩短了 2 d,后期玉米衰老缓慢,玉米的生殖生长期较裸地延长了 2—3 d,较普通白色地膜覆盖延长 2 d,从而进一步促进了玉米籽粒灌浆期光合物质的生产。

辛国胜等研究认为,黑色地膜覆盖较白色透明地膜覆盖甘薯增产 18.0%^[10]。刘红霞等研究表明,黑色地膜覆盖和白色地膜覆盖比较,棉花增产 6%—10%^[12]。本试验研究结果表明,黑色地膜覆盖产量较裸地和白色普通地膜分别增产 22.11% 和 10.36%,水分利用效率较裸地和白色普通地膜提高 25.28% 和 10.40%。大量研究认为,土壤肥料^[27]、水分^[28]和耕作措施^[29]等对玉米生长和干物质积累具有明显影响。本研究结果表明,黑色地膜覆盖处理玉米单株干物质积累量明显增加,较白色地膜和裸地分别增加 7.31% 和 18.11%,籽粒千粒重显著提高。这可能正是由于黑色地膜较裸地具有明显的保水保墒效果,较白色地膜具有降低土壤温度的效果,从而防止了高温和干旱对玉米根系的影响,延缓了玉米根系衰老,进一步促进了玉米千粒重的形成。

Stanford G, 等^[30]研究认为,一般在 5—35℃,随着温度上升,氮素矿化增加。在旱作春玉米区,普通白色地膜覆盖后,由于土壤的增温作用,造成氮素矿化作用加强,玉米生长后期营养耗竭,出现早衰和产量下降^[8]。黑色地膜覆盖较普通白色覆盖可以有效降低土壤温度,从而可能有效减少了土壤中的氮素矿化,为后期玉米生长提供必要的养分保证,但这还需进一步研究确定。

4 结论

在渭北旱地,黑色地膜在整个玉米生育期具有与普通白色地膜相同的保墒效果,较裸地可以明显提高 0—120 cm 土层的质量含水率。同时,黑色地膜覆盖能够降低土壤温度日变化,白天 0—15 cm 土壤日地温平均较普通白色地膜降低 0.8℃。玉米营养生长期较裸地缩短 2 d,生殖生长期较裸地延长 2—3 d,较普通白色地膜覆盖延长 2 d。玉米单株干物质积累量明显增加,较白色地膜和裸地分别增加 7.31% 和 18.11%。玉米千粒重增加,产量和水分利用效率显著提高,产量较裸地和普通白色地膜分别增产 22.11% 和 10.36%,水分利用效率分别提高 25.28% 和 10.40%。在本区域玉米生产中,用黑色地膜代替白色地膜是促进玉米增产的一种有效措施。

参考文献 (References):

- [1] 李尚中,樊廷录,王勇,唐小明,王立明.旱地玉米抗旱覆膜方式研究.核农学报,2009,23(1):165-169.
- [2] 买自珍,程炳文,王勇,罗世武.麦草与地膜覆盖对玉米田间生态环境及产量的影响.中国生态农业学报,2007,15(2):66-68.
- [3] 董朝阳,杨晓光,杨婕,解文娟,叶清,赵锦,李克南.中国北方地区春玉米干旱的时间演变特征和空间分布规律.中国农业科学,2013,

- 46(20):4234-4245.
- [4] 杨少平, 李粉西, 赵辉. 旱地地膜冬小麦早衰因素探析. 甘肃农业科技, 2001, 1: 24-25.
- [5] 张冬梅, 池宝亮, 黄学芳, 刘恩科, 张健. 地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响. 农业工程学报, 2008, 24(4): 99-102.
- [6] 韩思明, 王虎全. 旱作地膜覆盖穴播小麦底墒与产量关系. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2001, 29(2): 91-94.
- [7] 杜延军, 李自珍, 李凤民. 半干旱黄土高原地区地膜覆盖和底墒对春小麦生长及产量的影响. 西北植物学报, 2004, 24(3): 404-411.
- [8] 李世清, 李东方, 李凤民, 白红英, 凌莉, 王俊. 半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(5): 21-29.
- [9] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat. Field Crops Research, 1999, 63(1): 79-86.
- [10] Zaongo C G L, Wendt C W, Lascano R J, Juo A S R. Interactions of water, mulch and nitrogen on sorghum in Niger. Plant and Soil, 1997, 197(1): 119-126.
- [11] 乌瑞翔, 卢翠玲, 吕永来, 鲁秀芝, 霍秀平, 蔡英华, 乌秀艳, 吴景芝, 曲晓勃, 胡玉珍. “调水说”确定半干旱地区旱作地膜玉米播期的研究. 中国农学通报, 2005, 21(7): 165-169.
- [12] 唐小明, 李尚中, 樊廷录, 王勇. 不同覆膜方式对旱地玉米生长发育和产量的影响. 玉米科学, 2011, 19(4): 103-107.
- [13] 王顺霞, 王占军, 左忠, 郭永忠. 不同覆盖方式对旱地玉米田土壤环境及玉米产量的影响. 干旱地区资源与环境, 2004, 18(9): 134-137.
- [14] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 李荣, 张睿, 贾志宽, 杨宝平. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响. 作物学报, 2011, 37(7): 1249-1258.
- [15] 周丽娜, 于亚薇, 孟振雄, 周春晓, 唐帅, 李明慧, 廖晶晶. 不同颜色地膜覆盖对马铃薯生长发育的影响. 河北农业科学, 2012, 16(9): 18-21.
- [16] 辛国胜, 林祖军, 韩俊杰, 刘志坚, 商丽丽, 邱鹏飞. 黑色地膜对甘薯生理特性及产量的影响. 中国农学通报, 2010, 26(15): 233-237.
- [17] 刘红霞, 王宏伟. 黑色地膜对棉花生长的影响试验. 新疆农业科学, 2000, (1): 32-33.
- [18] Miles C, Wallace R, Wszelaki A, Martin J, Cowan J, Walters T, Inglis D. Deterioration of potentially biodegradable alternatives to black plastic mulch in three tomato production regions. Hort Science, 2012, 47(9): 1270-1277.
- [19] López-Marín J, Gonzalez A, Fernández J A, Abruscio P C. Biodegradable mulch film in a broccoli production system. Acta Horticulturae, 2012, 933: 439-444.
- [20] Díaz-Pérez J C. Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) grown on plastic film mulches: Effects on crop microenvironment, physiological attributes, and fruit yield. Hort Science, 2010, 45(8): 1196-1204.
- [21] 刘春生, 杨吉华, 马玉增, 郑永明. 对板栗园树盘土壤双重覆盖的效应研究. 农业工程学报, 2004, 20(1): 69-71.
- [22] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [23] 郑丕尧. 作物生理学导论. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 349-349.
- [24] 王空军, 胡昌浩, 董树亭, 刘开昌, 孙庆泉. 我国不同年代玉米品种开花后叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用的演进. 作物学报, 1999, 25(6): 700-706.
- [25] 王玉莹, 张正斌, 杨引福, 王敏, 赵久然, 杨国航. 2002—2009 年东北早熟春玉米生育期及产量变化. 中国农业科学, 2012, 45(24): 4959-4966.
- [26] 张玉芹, 杨恒山, 毕文波, 张瑞富, 范秀艳, 肖丽, 高聚林, 刘志雄. 不同栽培模式下春玉米生育后期冠层生理特性研究. 华北农学报, 2012, 27(1): 145-150.
- [27] 高敏, 朱庚振, 邹皆明. 控释氮肥施用方式及用量对玉米干物质积累及子粒产量的影响. 农业工程, 2013, 3(5): 133-135.
- [28] 余卫东, 冯利平, 盛绍学, 石磊. 黄淮地区涝渍胁迫影响夏玉米生长及产量. 农业工程学报, 2014, 30(13): 127-136.
- [29] 张银锁, 宇振荣, Driessen P M. 环境条件和栽培管理对夏玉米干物质积累、分配及转移的试验研究. 作物学报, 2002, 28(1): 104-109.
- [30] Sandford G, Frere M H, Schwaninger D H. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization Soil Science, 1973, 115: 321-323.