

不同种植方式对棉田土壤温度、棉花耗水和生长的影响

刘秀位^{1,2}, 王艳哲^{1,2}, 陈素英¹, 张喜英¹, 孙宏勇¹, 邵立威¹

(1. 中国科学院农业水资源重点实验室, 河北省节水农业重点实验室, 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 河北石家庄 050022; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过2010—2011年大田试验, 研究了平作、沟播和地膜覆盖(沟播+地膜覆盖)下棉花生长、水分消耗以及棉田地温变化情况。结果表明: 地膜覆盖对棉花苗期和现蕾期地温日变化、最高温影响最大, 通过提高土壤温度的最高值来影响土壤温度变化, 开花结铃期以后种植方式对地温的影响不明显; 不同种植方式对土壤水分也产生了一定影响, 覆膜处理的土壤含水量高于其他2种处理, 2010年覆膜和沟播处理比平作处理下的水分利用效率分别提高62.4%和25.3%, 2011年为26.1%和10.3%; 覆膜处理下的棉花净光合速率、生物量和籽棉产量都高于平作和沟播处理, 而沟播与平作间的差异不明显; 与平作相比, 2010和2011年覆膜和沟播处理下的棉花水分利用效率分别提高了0.17、0.10 kg·m⁻³和0.10、0.03 kg·m⁻³。覆膜处理与沟播和平作处理相比, 能够提高棉花生育前期的地温, 有效地保持土壤水分, 有利于棉花增产, 最终提高了水分利用效率。

关键词: 种植方式; 土壤温度; 棉花; 水分消耗; 生长

中图分类号: S152.8; S152.7⁺5; S562.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0014-06

Effects of different planting patterns on soil temperature, water use and growth of cotton

LIU Xiu-wei^{1,2}, WAN Yan-zhe^{1,2}, CHEN Su-ying¹, ZHANG Xi-ying¹, SUN Hong-yong¹, SHAO Li-wei¹

(1. Key Laboratory of Agricultural Resources, The Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050022, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This study was undertaken to examine the effects of flat planting, furrow sowing and film-mulching-bed planting on soil temperature, water use and growth of cotton. Results showed that film-mulching-bed planting increased soil temperature by increasing the daily maximum temperature in the early growth stages of cotton. After flowering, the effects were not obvious. At the same time film-bed and furrow sowing could conserve soil water and reduce soil evaporation. The amount of field water use under film-bed planting was significantly lower than that under furrow and flat sowing by 62.4% and 25.3% in the growth season of 2010, while by 26.1% and 10.3% in 2011. As a result, cotton net photosynthetic rate, biomass and final yield under film-mulching-bed planting were higher than that under furrow and flat planting. Compared with flat sowing, water use efficiency under film-bed and furrow planting was obviously improved by 62.4% and 25.3% for the season of 2010, while by 26.1% and 10.3% in 2011. Though furrow planting was better in soil moisture conservation than flat planting, no significant difference was found on the cotton yield of the two practices.

Keywords: planting pattern; soil temperature; cotton; water use; growth

棉花是仅次于粮食的重要农作物^[1]。棉花产量的稳定和提高有利于国家经济的稳定发展。沟播、垄作以及地膜覆盖等是农业生产中采用的提高棉花

产量、保温保墒的重要种植方式。垄作与沟播是一种传统耕作技术, 它是通过人为改变地表形状, 改善作物生长环境, 对于作物生长发育具有良好的促进

收稿日期: 2012-04-06

基金项目: 公益性行业科研专项资助(201203077)

作者简介: 刘秀位(1986—), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 主要从事农业综合节水技术研究。E-mail: liuxiuweijun@163.com.

通信作者: 陈素英(1964—), 女, 河北元氏人, 副研究员, 主要从事农业综合节水技术研究。E-mail: csy@ms.sjziam.ac.cn.

作用^[2]。垄作和沟播栽培能优化农田小气候,主要表现在提高地温、降低田间湿度、使通风透光性增强,从而减轻了作物病虫害发生,使得植株发育健壮。地膜覆盖作为农业的一项栽培技术在生产中得到了广泛应用^[3-5]。很多学者也就地膜覆盖从抑制土壤蒸发、提高水分利用效率和作物产量、促进微生物活动、提高速效磷和有机质含量、降低盐碱危害、提高土壤温度等多方面进行了研究^[6-8]。原红娟研究认为,地膜覆盖改善了棉田的土壤结构,增加了土壤中可给态养分,棉花受干旱胁迫的危害较小,有利于棉花顺利地完 成生理生化过程^[9]。Tian 等认为沟播覆膜的增产效果比单独进行沟播的好^[10]。多数研究认为垄作和覆膜能够提高土壤温度,而土壤温度是影响棉花生长的重要环境因子,能够直接或间接地影响棉花的生长。有研究认为棉花出苗时,在大于 32℃ 土壤温度时棉花根和茎的生长明显受到抑制^[11]。目前关于不同种植方式对棉花生长的影响研究大多集中在沟播、垄作地膜覆盖的保温保墒、集雨、增产等效果上,对这些措施如何影响地温、土壤水分等作用原理方面研究较少,还需进一步深入探讨。为此,本研究通过测定沟播地膜覆盖、沟播和平作(对照)3 种植方式对棉花生长和土壤温度、水分的影响,探讨其对棉花影响机制,为农业生产提供指导。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2010—2011 年在中国科学院南皮农业生态系统试验站进行。该站位于东经 114°40',北纬 38°06',海拔高度 20 m 以下,位于黄淮海低平原的东部,东近渤海,属河北省沧州市南皮县冯家口镇。该试验区属近滨海的缺水盐渍化类型,降水主要集中在 7、10、12 月份,春季雨量一般占全年雨量的 10% 左右。耕层土壤为轻质壤土,土壤容重为 1.42 g·cm⁻³,平均田间持水量为 34.2%;耕层土壤有机质 10~12 g·kg⁻¹,有效 N、P 和 K 分别为 98、15 mg·kg⁻¹和 100 mg·kg⁻¹。

两个棉花生长季为 2010 年 5 月 1 日至 2010 年 11 月 18 日,以及 2011 年 5 月 13 日至 2011 年 11 月 25 日。其中 2010 和 2011 年棉花生育期内降水 489.2 mm 和 410.4 mm,日平均温度 22.6℃ 和 21.8℃,平均日照时数 7.0 h 和 7.7 h。

1.2 试验设计

试验设有平作、沟播和覆膜 3 种植方式,每个

处理重复 3 次;小区面积 4.5 m×1.8 m,所有处理棉花播种行距为 60 cm,株距 11.5 cm,留苗密度 14.43 万株·hm⁻²。平作处理为播前耕翻土壤后把地整平,沟播处理为耕翻土壤后机器起垄,沟垄比例为 1:1(60~60 cm),垄高 15 cm;覆膜处理是在沟播处理的基础上在垄上覆盖地膜。播种施肥,其中施磷肥 975 kg·hm⁻²,氯化钾 240 kg·hm⁻²,碳铵 450 kg·hm⁻²。为了充分利用雨水,沟播和覆膜处理的棉花播种在沟里,两个生育期内于现蕾期各灌水一次,每次灌水 70 mm,各处理的其他田间措施相同。

1.3 测定项目

光合速率:于棉花花铃期在晴朗天气时用 LI-6400 便携式光合仪随机选取 3~5 片棉花上层新叶片测定棉花 9:00~16:00 净光合速率的日变化。

生物量:于棉花吐絮期每个处理每个小区随机取 4~5 株进行观测,高温 105℃ 杀青,80℃ 烘干测定干重。

产量:每个小区分别收获测定籽棉产量。

地温的测定:2011 年棉花播种后用 Optic 温度计自动采集地温,平作处理下温度计安装在棉花行间 5 cm 处,沟播和覆膜处理下的地温计安装在垄上 5 cm 处,每个处理两次重复,30 min 记录一次地温。气象数据由当地的气象部门提供。

土壤含水量:平作每个小区行间安装 1 根中子管,沟播和覆膜处理下于每个小区垄上安装 1 根中子管,在出苗、现蕾、开花结铃、吐絮期用中子仪分别测定土壤体积含水量,从表层到 180 cm 深,每 20 cm 读取一组数据。

农田耗水(ET)根据水量平衡公式计算^[12]:

$$ET = SWD + P + I + W - D - R \quad (1)$$

式中,ET 为农田耗水(mm);P 为降雨量(mm);I 为灌溉量(mm);D 为水分下渗量(mm);R 为地表径流量(mm);SWD 为一定土层的土壤水分消耗量(mm);W 为土壤细管提升水(mm)。在两个生长季内没有发现地表径流;由于地下水位 10~15 m,因此土壤细管提升水可以忽略;在本试验中 W 和 R 值设定为 0。根区土壤水分下渗量根据公式 $D = -k(\Delta h/\Delta z)$ 计算,式中 k 为土壤水分传导率,Δh 为水势变化,Δz 为土壤深度间隔。水分传导率用 k 和 θ(土壤体积含水量)指数关系计算。土壤基质势由土壤水分特征曲线计算。

1.4 数据处理

数据用 EXCEL 和 SPSS version 16.0 进行作图 and 数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式对土壤温度的影响

2.1.1 不同种植方式对土壤温度日变化的影响

土壤表面是土壤与大气进行热量交换的界面,土壤温度变化是土壤随着太阳辐射和大气温度的变化而吸收或释放能量的过程^[6]。不同种植方式下的土壤表面不同,对土壤与大气间热量交换影响不同。图 1a 是 2011 年棉花播种后(5 月 15 日)地温日变化过程,可以看出,3 种植方式下地温日变化趋势一致,最低值和最高值分别出现在早上 5:00~6:00 和中午 14:00 左右。处理间的差异表现为:一天中覆膜处理下的地温都明显高于平作和沟播处理,而平作与沟播间则无明显差异。地膜能够消除土壤潜热交换、减弱显热交换和抑制夜间有效发射辐射^[7],从而导致膜下土壤温度比其他种植方式下的高。但是随着棉花生育期的推进,不同种植方式下的差异发生了变化。图 1b 为 2011 年棉花花铃期(7 月 25 号)的地温日变化过程,3 种植方式下的地温差异在减小,晚上覆膜下的地温仍高于平作和沟播处理,而

白天覆膜处理的地温则略低于其他方式。可能是由于棉花植株的不断生长,使得太阳光基本上被棉花冠层截获,到达地面的热量减少,白天地温上升较慢;地膜覆盖减缓了地温的上升,晚上也减缓了热量的散失,使得温度日变幅变小。

2.1.2 不同种植方式对土壤日最高、最低温度的影响

棉花生长发育对温度有三基点(最高、最适、最低温度)要求,当温度超出三基点温度范围,对其生长发育都十分不利(特别是花铃期)^[13]。不同种植方式对地温最高、最低值的影响如图 2 所示,可以看出,在棉花苗期和现蕾期覆膜处理的地温最大值都显著高于平作和沟播处理(图 2a),而蕾期之后 3 种植方式下的地温最大值变化趋向一致。苗期和蕾期覆膜比平作和沟播处理的平均最大值平均分别高 9.75℃和 7.49℃。而 3 种植方式下的最小值差异小于最大值(图 2b),只有在苗期有所差异,覆膜处理的最小值比平作和沟播分别高 1.86℃和 3.12℃;在蕾期及其以后 3 种植方式下最小值差异逐渐减小。说明在棉花生育前期覆膜的增温效果最大,主要通过提高地温的最大值来提高地温。

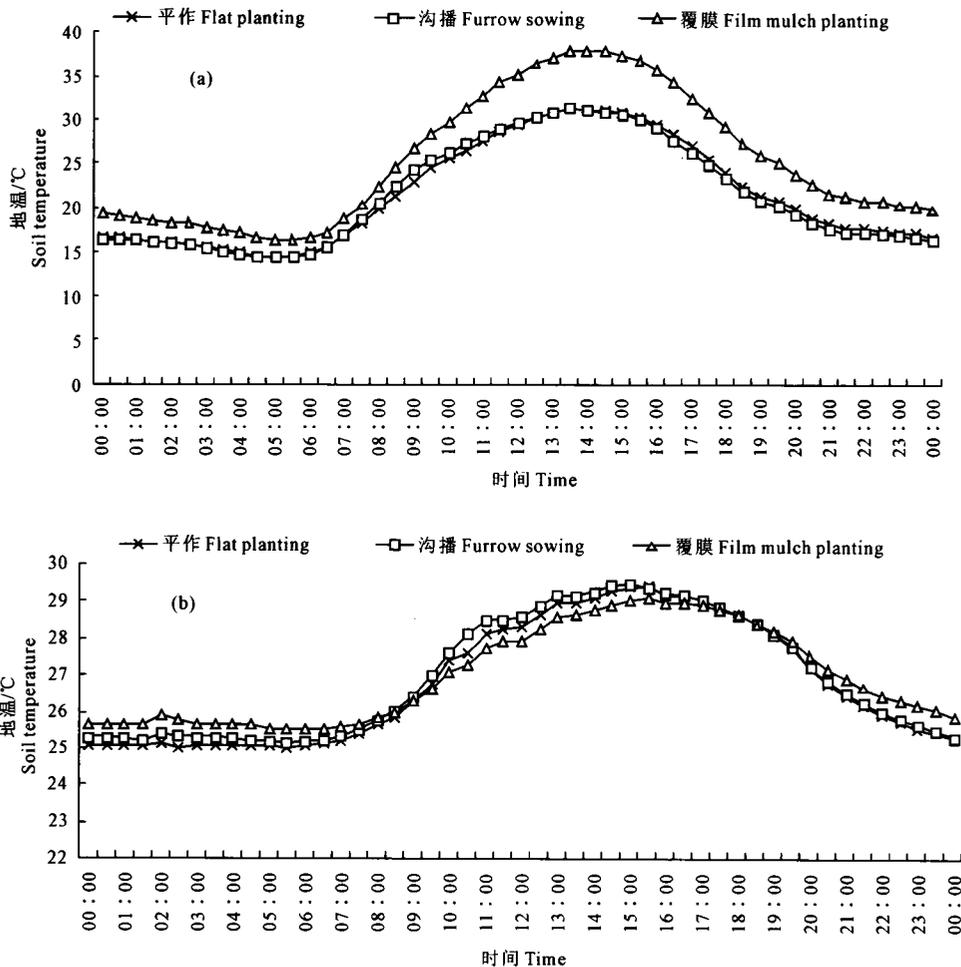


图 1 不同种植方式下的地温日变化(a:5 月 15 日;b:7 月 25 日)

Fig.1 Soil temperature change under different planting patterns (a: 15th May; b: 25th July)

2.2 不同种植方式对棉花生理生态特征的影响

光合作用是作物生长发育的基础,大量研究表明光合作用对作物产量的贡献率很大^[14-15]。在一定的温度范围内,光合速率随着温度的升高而升高,由于不同种植方式下微环境有所差异,其对棉花叶片光合速率也产生了一定的影响。表 1 为不同处理对棉花单叶净光合速率(P_n)的影响,可以看出,虽然 3 种植方式对 P_n 的影响差异不显著,但是也表现出一定的规律,即覆膜处理 > 沟播 > 平作,2010 年覆膜、沟播处理分别比平作高 0.8% 和 1.6%,2011

年覆膜比平作和沟播高 2.4% 和 3.2%。

不同种植方式对棉花生物量和产量的影响大于对光合作用的影响(如表 1)。两年内覆膜处理下的生物量和产量都显著高于平作和沟播处理,而沟播处理略高于平作处理。研究认为,起垄覆膜既能保持水分,又能提高地温,为作物生长提供了良好的水热条件^[16],因此覆膜处理下的产量高于沟播,也高于平作^[17],本试验由于覆膜和沟播处理后地温较高,土壤湿润,棉花吐絮期延长,有助于产量的提高。

表 1 不同处理对棉花单叶净光合速率、生物量和籽棉产量的影响

Table 1 Net photosynthetic rate, biomass and final seed yield under different planting patterns

处理 Treatments	光合速率/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ Net photosynthetic rate		生物量/ $(\text{g}\cdot\text{plant}^{-1})$ Biomass		籽棉产量/ $(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$ Seed yield	
	2010-07-13	2011-07-25	2010-08-26	2011-09-02	2010	2011
平作 Flat planting	25.62a	15.42a	93.75b	165.28b	1703.4b	2232.0b
沟播 Furrow sowing	25.82a	15.55a	115.14b	169.44b	1919.4b	2316.6b
覆膜 Film mulching planting	26.03a	15.93a	136.41a	187.50a	2436.0a	2475.3a

注:同列数据后不同小写字母表示各处理差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Values marked with different letters in the column were significantly different ($P < 0.05$). The same as below.

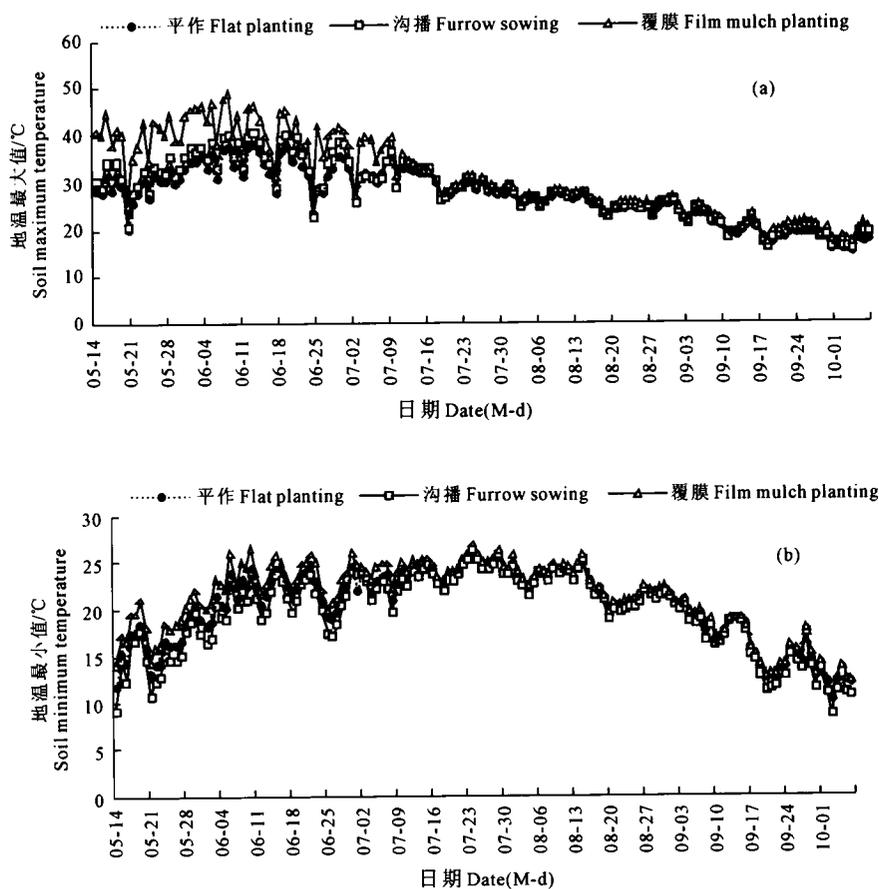


图 2 不同种植方式下地温最大值(a)、最小值(b)的变化

Fig.2 Change of soil maximum (a) and minimum (b) temperatures under different planting patterns

2.3 不同种植方式对棉花耗水的影响

2.3.1 不同种植方式集雨保墒效果 研究表明覆膜能够提高土壤温度,保持土壤水分,抑制土壤蒸发^[7]。图 3 是 3 种植方式下的土壤表层水分变化情况,可以看出 3 种处理下的土壤表层含水量变化趋势基本一致,但是在整个生育期内覆膜处理的土壤水分都高于其他 2 种方式,尤其是前期,覆膜处理明显高于沟播和平作处理的土壤含水量,而至生育期的中后期 3 种处理下的差异减小,与温度间差异变化基本一致。但是不同年份的表现不一样,2010 年(图 3a)的土壤含水量变化比较稳定,而 2011 年的变化则比较大,可能是由于 2010 年棉花生育期间的降雨分布比较均匀,土壤供水比较稳定,削弱了各个处理对土壤水分的影响;2011 年棉花生育期间的降雨比 2010 年少 78.8 mm,从而使得土壤水分变化相对较大。总之,覆膜能够更好地保持土壤水分,而沟播次之,平作对于表层的耗水较多。王琦研究认为,膜垄的平均集水效率为 90%,土垄的平均集水效率为 16.8%^[17],而且膜垄和土垄能够减少蒸发,所以棉花生育期内覆膜处理下的土壤含水量最高。棉花生育前期降雨相对较少、温度高、水分蒸发强烈,而水分是否充足对棉花的生长至关重要,地膜覆盖能够使

土壤水分保持在一定的范围内,保证棉花正常生长。

2.3.2 不同种植方式对农田耗水和水分利用效率的影响 垄作的微地形环境能够降低农田耗水量,由表 2 可以看出,覆膜和沟播处理下的农田耗水量较低,其中覆膜处理能明显地减少土壤无效水分的散失。数据分析发现,棉花生育前期(苗期和现蕾期)耗水强度较大,2010 年平作、沟播和覆膜 3 种植方式下棉花生育前期农田的耗水速率分别为 6.64、4.28 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 4.02 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$;2011 年为 3.92、3.72 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 3.64 $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。主要原因是苗期降水量较大,土壤表层含水量大,作物棵间蒸发加大,再加上苗期经历时间较长,故耗水总量大、土壤蒸发强度大^[18]。与 2010 年相比,2011 年棉花生育前期土壤含水量较低(图 3a),平均气温相对也较低,土壤蒸发量较低,从而使得不同年份农田耗水表现有所不同。

不同种植模式对棉花生长发育所产生的影响不同,最终将反映在各个处理的籽棉产量和水分利用效率(WUE)上。从表 1、2 中可以看出,与平作相比,垄作处理下产量高,农田耗水少,所以水分利用效率高。2010 年覆膜和沟播处理比平作处理下的水分利用效率分别提高了 62.4% 和 25.3%,2011 年为 26.1% 和 10.3%。

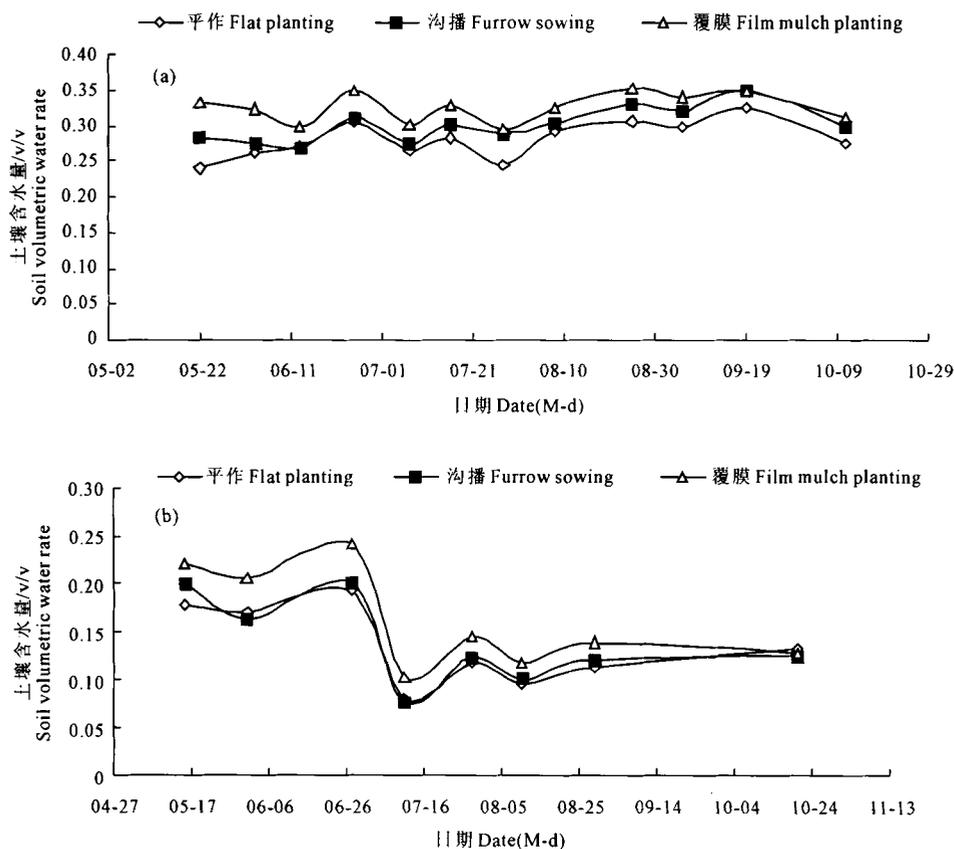


图 3 不同种植方式下的土壤水分变化(a:2010年;b:2011年)

Fig.3 changes of soil water contents under different planting patterns (a: 2010; b: 2011)

表 2 不同处理对农田耗水和水分利用效率的影响

Table 2 Field water consumption and water use efficiency under different planting patterns

处理 Treatments	农田耗水/mm Field water consumption		水分利用效率/(kg·m ⁻³) Water use efficiency	
	2010	2011	2010	2011
平作 Flat planting	626.4a	539.7a	0.27c	0.42b
沟播 Furrow sowing	563.5b	508.0b	0.34b	0.45b
覆膜 Film mulch planting	551.5b	474.6c	0.44a	0.52a

3 结论与讨论

Jia Y 等研究认为,在半干旱地区沟播加覆膜处理能够提高土壤表层 0~20 cm 的温度和水分^[19]。本文通过比较平作、沟播和覆膜 3 种植方式下的地温及棉花生长情况,得出,覆膜处理下地温日变化、最高值以及积温都高于平作和沟播处理;而沟播和平作间的温度差异不明显。膜下地温变化趋势缓于膜间地温变化趋势,覆膜减小地温变化幅度,降低了因地温变幅过大而产生棉苗冻害程度^[6]。本研究认为,在棉花生长前期,覆膜对地温的影响较大;而在棉花生育后期冠层的发育对地温的影响较大。其中,覆膜处理主要通过提高日最高温度来影响温度变化。地温受到气象条件的影响^[20],其中气温对其影响最大。可能由于垄作使两个面上的降雨集中到一个面上,沟中的水分产生叠加,同时垄作具有抑制蒸发作用^[21],使得覆膜和沟播处理下的土壤含水量大于平作处理。

覆膜处理下的土壤温度高,有利于作物苗床的建立,同时提高了土壤养分的有效性,使作物萌发时间提前^[22]。研究表明,地膜覆盖在作物生育前期具有明显的增温效应,因而能使播种后的种子萌发快、出苗迅速^[8]。也有研究表明,覆盖下高的地温不利于作物开花结果,会导致产量减低^[23-24]。因为覆膜处理对棉花生育后期地温的影响较小,本试验中虽然棉花早期生长过快但是并没有出现早衰现象,而且覆膜处理延长了棉花开花结铃的时间,提高了产量。戴敬、王荣堂等研究认为覆膜处理下的棉花产量比不覆膜的高^[25-26],吴巍^[2]认为沟播能提高作物的产量,本试验结果为覆膜沟播处理比平作的产量高,而单独采用沟播则没有明显提高棉花的产量。由于覆膜能够明显提高产量,同时降低土壤水分的无效消耗,使得最终的水分利用效率明显高于平作和沟播处理。Liu 等的试验研究得出在不同

的年份覆膜表现出来的增产效果不同^[27],本试验地温数据仅有一年的数据,地温和棉花生长的关系以及影响地温的因素需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 马腾.河北省棉花生产预测与报警模型[D].保定:河北农业大学,2008.
- [2] 吴巍,陈雨海,周勋波,等.沟垄集雨栽培对夏玉米生长发育及其产量的影响[J].中国农学通报,2005,2(8):101-104.
- [3] 崔光辉.水稻垄作稻-菇-鱼立体共生复合群体结构模式的研究[J].现代化农业,1997,(2):7-8.
- [4] 张俊田.油菜垄作栽培技术[J].现代化农业,1993,(11):10-18.
- [5] 汪忠华.横坡分带压茬垄作玉米的增产效应对土壤肥力的影响研究[J].耕作与栽培,1993,(1):57-62.
- [6] 王卫华,王全九,刘建军.新疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):138-145.
- [7] 潘渝,郭谨,李毅,等.地膜覆盖条件下的土壤增温特性[J].水土保持学报,2002,9(2):130-134.
- [8] 王有宁,王荣堂,董秀荣.地膜覆盖棉花、玉米、大豆地的降温效应研究[J].中国农业气象,2003,24(4):45-47.
- [9] 原红娟.地膜覆盖对棉花苗期至蕾期的生理特征影响研究[J].安徽农业科学,2008,36(7):2655-2656.
- [10] Tian Y, Su D R, Li F M, et al. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas[J]. Field Crops Research,2003,84:385-391.
- [11] Nabi G, Mullin C E. Soil temperature dependent growth of cotton seedlings before emergence[J]. Pedosphere,2008,18(1):54-59.
- [12] Zhang X Y, Chen S Y, Sun H Y, et al. Drymatter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat[J]. Irrig Sci, 2008,27:1-10.
- [13] 王树安.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,1996:353-369.
- [14] 胡廷积,杨永光,马元喜,等.小麦生态与生产技术[M].郑州:河南科技出版社,1986:19-23.
- [15] 张余良,陆文龙.微咸水灌溉对小麦生理特性及产量的影响[J].河南农业科学,2007,(8):31-34.
- [16] 付增光,杜世平,廖允成.渭北旱地小麦留茬深松膜侧沟播耕作技术体系研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(2):13-17.
- [17] 王琦,张恩和,李凤民.半干旱地区膜垄和土垄的集雨效率和不同集雨时期土壤水分比较[J].生态学报,2004,24(8):1816-1819.
- [18] 陈四龙,裴冬,王振华,等.华北平原膜下滴灌棉花水分利用效率及产量对供水方式响应研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):26-32.
- [19] Jia Y, Li F M, Wang X L, et al. Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semi-arid environment[J]. Field Crops Research, 2006,97:167-175.
- [20] 张金帮,王勇,毛允峰.气象因素对棉花铃重、衣分的影响[J].江西棉花,2000,22(2):29-32.
- [21] 陈明灿,李友军,熊英,等.豫西旱地小麦不同种植方式增产效应分析[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):29-32.

(下转第 45 页)

壤水分,促进了山旱地春甘蓝的生长。

2) 山旱地春甘蓝产量和水分利用效率均表现秋季覆膜高于春季覆膜,全膜双垄沟高于全膜平铺和半膜平铺,且秋季全膜双垄沟山旱地春甘蓝产量和水分利用效率为 $41\ 000.00\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $210.54\ \text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,较秋季全膜平铺、春季全膜双垄沟、春季全膜平铺、秋季半膜平铺、春季半膜平铺(CK)分别提高 $14.42\% \sim 89.23\%$ 和 $20.67\% \sim 88.58\%$,差异均达极显著水平;秋季全膜双垄沟显著提高了甘蓝的产量和水分利用效率,具有明显的抗旱、保墒和节水效果,可作为天水市山旱地春甘蓝的主要栽培方式。

3) 李尚中等研究认为全膜双垄沟能提高玉米生育期耕层地温^[19],杨祁峰等研究认为秋季覆膜能提高玉米土壤有效积温^[20]。秋季全膜双垄沟能显著提高山旱地春甘蓝生长势、产量和水分利用效率的另一原因是山旱地春甘蓝生育期短(从定植至采收 $60 \sim 70\ \text{d}$),较高的耕层地温和土壤有效积温,有利于甘蓝的结球,促进短期内形成较高的产量。

4) 干旱可导致甘蓝不结球或结球松散^[14]。在本试验中甘蓝株高、株幅、球高、球径、叶球重、净菜率的变化趋势是秋季全膜双垄沟 > 秋季全膜平铺 > 春季全膜双垄沟 > 春季全膜平铺 > 秋季半膜平铺 > 春季半膜平铺,但紧实度呈相反的变化趋势,造成这种现象的原因可能是土壤含水量在某一范围内时,土壤水分高,植株长势强,叶球膨大速度快、紧实度则低,土壤水分低,植株长势弱,叶球膨大速度慢、紧实度则高;而山旱地春甘蓝发生不结球或结球松散现象的土壤含水量范围,还需以后进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘卫民,蒲金涌,姚晓红,等.天水旱作区土壤水分变化规律及其与冬小麦产量关系研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):29-32.
- [2] 张雷,牛建彪,赵凡.旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式

研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):8-11.

- [3] 王彩绒,田霄鸿,李生秀.沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J].中国农业科学,2004,37(2):208-214.
- [4] 李丽君,高聚林,武向良,等.不同覆膜方式对大豆水分动态及利用效率的影响[J].大豆科学,2008,(4):262-266.
- [5] 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(4):96-99.
- [6] 王志平,周继华,黄兴法,等.交替沟灌在露地春甘蓝上的应用[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):40-45.
- [7] 黄伟,张俊花,王伟玲,等.不同灌溉条件对甘蓝生长、水分利用效率和产量的影响[J].灌溉排水学报,2009,28(1):131-134.
- [8] 李娟,范凤翠,石玉芳,等.不同覆盖方式和灌水量对甘蓝生长、品质及产量的影响[J].北方园艺,2010,(15):147-149.
- [9] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [10] 刘广才,杨祁峰,李来祥,等.旱地玉米全膜双垄沟播技术土壤水分效应研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):18-28.
- [11] 张正斌,山仑.作物水分利用效率和蒸发蒸腾估算模型的研究进展[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):73-78.
- [12] 马天恩,高世铭.集水高效农业[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1997:78-85.
- [13] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南(草案).结球甘蓝[S].中华人民共和国农业部,2002.
- [14] 蒋先明,王如英,葛晓光,等.蔬菜栽培学各论[M].第三版.北京:中国农业出版社,1999:29-31.
- [15] 杜少平,马忠明,薛亮.不同覆膜方式对旱砂田西瓜产量品质及土壤水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):122-128.
- [16] 姚小英,朱拥军,把多辉,等.天水市45年气候变化特征及对林果生长的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):240-245.
- [17] 赵凡.玉米双垄全膜模式土壤水分与降水的灰色关联分析及水分利用研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):89-94.
- [18] WANG Xiao-Lin, LI Feng-Min, JIA Yu, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. Agric Water Manag, 2005,78:181-194.
- [19] 李尚中,王勇,樊廷录,等.旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J].中国农业科学,2010,43(5):922-931.
- [20] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.

(上接第19页)

- [22] Wang X L, Li F M, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. Agriculture water management,2005,78:181-194.
- [23] Vara Prasad P V, Craufurd P Q, Summerfield R J. Effect of high air and soil temperature on dry matter production, pod yield and yield components of groundnut[J]. Plant and soil,2000,222:231-239.
- [24] Ghosh P K, Devi Dayal, Bandyopadhyay K K, et al. Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated sun-

mer groundnut[J]. Field Crops Research,2006,99:76-86.

- [25] 戴敬,陈荣来,李国军.可降解地膜覆盖棉花增产效应的研究[J].中国生态农业学报,2004,12(2):140-142.
- [26] 王荣堂,秦巧燕,董秀荣.地膜覆盖棉花地的生态小气候效应研究[J].湖北农学院学报,2001,21(3):196-198.
- [27] 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,2009,31:241-249.