

黄土高原坡耕地不同耕作措施对 土壤温度和水分的作​​用效应

杨 凯¹, 冯永忠², 李永平², 杨世琦³, 杨改河²

(1. 西北农林科技大学 资环学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 中国农业科学院, 北京 100081)

摘 要: 利用定位实时监测和数学模拟的方法, 在中国北方典型的土壤水蚀风蚀区神木县选择试点, 对免耕、秸秆覆盖、地膜覆盖等 6 种不同耕作措施下不同耕作层的地温和土壤含水量进行了连续测定。结果表明: 起垄地膜覆盖提高地温的效果最好, 在特定时间不同深度或同一深度不同时间的土壤温度都以起垄地膜覆盖最高, 其在观测期内的总积温比对照高 10%; 而秸秆覆盖在各个测定深度上的地温都低于对照, 其在观测期内的总积温比对照低 2.3%。

关键词: 黄土高原; 耕作措施; 土壤水分; 地温

中图分类号: S152.6; S152.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0190-06

水资源缺乏是限制黄土高原农业发展的关键性因素, 黄土高原土层厚, 地下水埋深, 降雨几乎是土壤水的唯一补给途径^[1]。所以提高黄土高原农业生产力的关键技术在于提高现有水资源的利用率、协调水热资源利用的同步性。同时, 在黄土高原地区, 由于不应该被开垦成耕地的坡地被开垦成了耕地, 从而进一步加剧了该地区的水土流失, 并且这些坡耕地的土壤养分也随着水土流失的加剧而严重流失, 造成坡耕地的作物产量极低, 农民为了保证自己的收益又往往不得不开垦更多的坡耕地从而造成恶性循环。采用覆盖免耕等耕作措施, 不仅能减少水土流失, 而且还能减少自然蒸发的无用消耗, 提高水资源利用率, 且能协调土壤中的水、肥、汽、热, 提高土壤含水量^[2-5]。农田覆盖技术在我国有着悠久的历史, 目前在我国农业生产中广泛应用的覆盖材料主要是秸秆和地膜^[6,7]。地膜具有不透水、透光性好、以及显著的增温保水和早熟增产作用^[8,9], 但普通地膜具有很强的抗分解特性, 在自然状态下很难分解, 非常容易造成白色污染^[7,10]。而传统的秸秆覆盖不仅具有良好的保水稳温效应^[11-13], 又实现了农业废弃物的资源化利用, 更具有培肥土壤和防止水土流失的作用^[14,15]。

前人的研究多是在覆盖与不覆盖或者免耕等耕作措施与常规耕作之间做比较, 而直接比较覆盖、免耕、起垄等耕作措施对土壤水分和地温的作用效应

的研究较少。本研究以此为切入点, 对不同覆盖材料以及免耕、起垄等耕作措施下土壤的水热条件和养分状况等方面的差异进行了比较。通过这种比较, 为在黄土高原水蚀风蚀生态脆弱区合理地选择和应用不同的耕作措施提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点选择在中科院水利部水土保持研究所神木侵蚀与环境试验站, 试验地坡度为 12.5°, 该试验站位于陕西省神木县以西 14 km 处的六道沟流域, 北依长城, 地处毛乌素沙漠的边缘。流域面积 6.9 km²。该站位于黄土高原长城风沙沿线, 是黄土高原向毛乌素沙漠过渡、森林草原向典型干旱草原过渡的地带, 又属于流水作用的黄土丘陵区向干燥剥蚀作用的鄂尔多斯高原过渡的水蚀风蚀交错带, 是典型的农牧交错带, 同时是环境变化对煤田开发响应的敏感区。该流域地貌为片沙覆盖的梁峁状丘陵区, 年平均气温 8.4℃, 无霜期 169 d, 平均降雨量 437.9 mm, 平均干燥度 1.8, 属典型的半干旱区。

1.2 试验设计与方法

本试验用地之前为农民种植土豆的坡耕地, 在冬闲时期为撂荒地, 4 月下旬至 5 月初建立本试验用的径流场, 每个径流场长 15 m, 宽 3 m, 坡度 12.5°。试验设 6 个处理: 1, 黄豆常规耕作(对照 CK); 2, 黄

收稿日期: 2008-11-10

基金项目: 十一五国家科技支撑项目“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”(2006BAD09B04); 国家林业局 948(2006-4-11); 公益性行业(农业)科研专项(200803028)

作者简介: 杨 凯(1983—), 男, 河南洛阳人, 硕士, 主要从事生态农业和保护性耕作的研究。E-mail: yangkai0379@yahoo.cn。

通讯作者: 冯永忠, 男, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事生态农业与循环农业技术研究。

豆免耕处理;3,黄豆秸秆覆盖(播种后再覆盖秸秆,出苗时将黄豆苗周围的秸秆拨开),秸秆覆盖量为 $7\ 500\text{ kg/hm}^2$;4,黄豆地膜覆盖(黄豆按行播种,然后用地膜覆盖每一行,行与行之间不覆盖);5,黄豆起垄地膜覆盖(在垄上两侧播种黄豆,然后用地膜覆盖整个垄上部分,垄沟不覆盖);6,黄豆起垄不覆膜(在垄上两侧种植黄豆)。起垄处理的小区每个小区起15个垄,垄顶宽50 cm,垄顶中线与下一个垄顶中线之间间距50 cm,垄高20 cm,在垄上两侧种植黄豆,其他不起垄的小区每小区播种30行,留苗200株左右。在每个小区1/3处和2/3处分别埋入一组曲管地温计,每天8:00,14:00,19:00定位测定每个处理5、10、15、20、25 cm土层地温(起垄处理的地温计埋在垄上),每个小区不同深度的地温取两套地温计读数的平均值。取日平均值作为该土层当天的地温测定值。6个处理均在5月10日播种,地膜覆盖和秸秆覆盖也在当天完成。观测期从5月11日到7月29日共80 d,由于数据太多,相同土层从5月11日开始,将连续10 d地温测定值平均值作为一个数据点,绘制各个处理在不同土壤层次的地温变化曲线,以期探索不同处理条件下不同土层地温的变化

规律。在播种期(5月11日),黄豆出苗期(5月19日),开花期(7月23日)以及结荚期(8月15日)用烘干法测土壤水分,在每个小区的1/3和2/3处打土钻(起垄处理在垄沟处取土),测量深度100 cm,每10 cm为一层,取两钻的平均值为该小区的水分含量。地温和水分数据使用SAS软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理土壤温度效应分析

2.1.1 土壤温度的变化规律

(1) 土壤温度随深度的变化。以对照为例,由图1可以看出,在观测期内每天在5 cm和10 cm的深度以14:00的地温为最高,19:00的地温次之,8:00的地温最低。15 cm深度是一个过渡带,14:00的地温和19:00基本相同,而8:00的地温最低。在20 cm和25 cm的深度变化为19:00的地温为最高,14:00次之,8:00的还是最低,但在这3个时间点上的地温变化值要小于在5 cm和10 cm深度各时间点的地温变化值。从整个观测期看不同土壤深度的地温随时间的变化都呈缓慢上升的趋势。

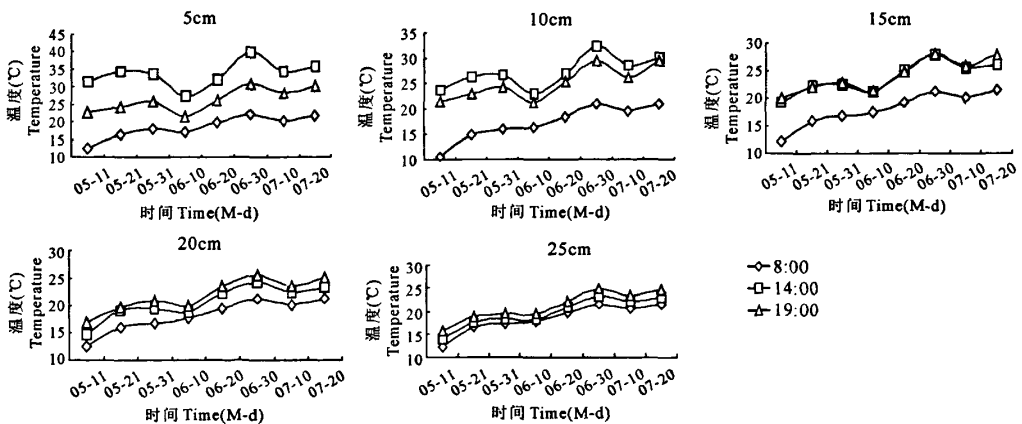


图1 地温随土壤深度的变化(以对照为例)

Fig.1 Spatial variation of soil temperature in CK treatment

(2) 土壤温度随天气的变化。在晴朗的天气不同处理的地温变化比较明显(图2,以10 cm深度为例),尤其是14:00的观测值。如图2所示,起垄覆膜处理的地温最高,每天三个时间点平均比对照处理高 1.89°C ,秸秆覆盖的地温最低,平均比对照低 1.15°C 。

但在阴天及降雨天气地温的变化与晴朗天气的地温变化有所不同,以7月30~31日为例(7月30

日和31日为阴天有零星小雨)(见图3)。不同处理的地温差异幅度比晴朗天气的变化小,虽然起垄覆膜处理的地温仍然是最高,但只比对照处理的地温高 0.77°C ,地膜覆盖比对照处理高 0.51°C ,秸秆覆盖比对照处理低 0.33°C 。这说明地膜覆盖大幅度的增温作用只有在天气较为晴朗的情况下才能充分体现出来,而秸秆覆盖在低温条件下则有一定的保温作用。

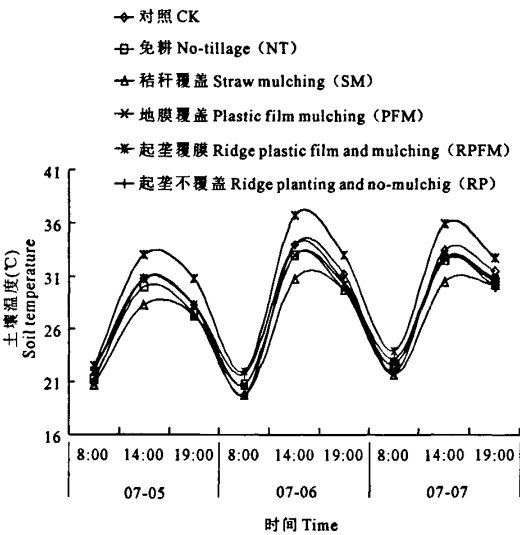


图 2 不同处理的土壤温度(10 cm)随时间的变化(7月5~7日,晴天)
Fig.2 Temporal variation of soil temperature in different treatments (July 5~7, sunny)

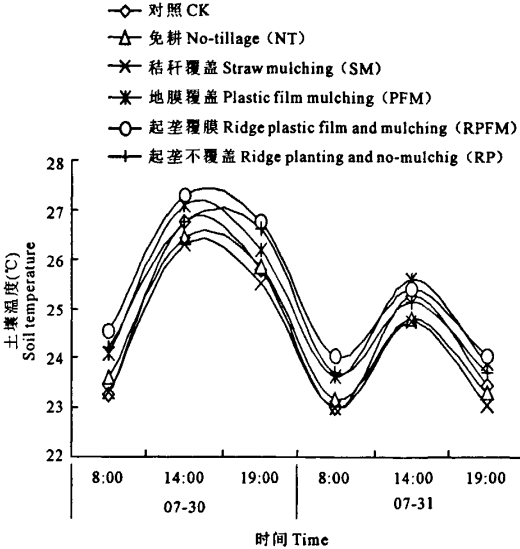


图 3 不同处理在阴天 10 cm 深度土壤温度随时间的变化(7月30~31日,阴天)
Fig.3 Temporal variation of soil temperature at 10 cm depth in different treatments in overcast days (July 30~31, cloudy)

2.1.2 不同处理方式对土壤温度的效应分析 将各个处理每天3个时间点、5个深度的地温的平均值作为当天的地温,结果表明:起垄地膜覆盖提高地

温的作用最好,其次是地膜覆盖(表1)。起垄地膜覆盖和其他所有的处理之间都差异显著。

表 1 不同处理的积温(℃)
Table 1 Effect of different treatments on accumulated temperature

处理 Treatments	深度 Depth (cm)					总积温 Cumulative temperature
	5	10	15	20	25	
免耕 NT	2048dc(-46)	1865c(12)	1765c(7)	1691d(81)	1586c(10)	8955
秸秆覆盖 SM	1971d(-123)	1827c(-27)	1730cd(-28)	1599f(-11)	1551d(-25)	8679
地膜覆盖 PFM	2099bc(5)	1942b(88)	1858b(100)	1738b(128)	1658b(82)	9294
起垄地膜覆盖 RPFM	2201a(107)	2036a(182)	1949a(191)	1859a(249)	1729a(153)	9775
起垄不覆盖 RP	2148b(54)	1923b(69)	1852b(94)	1721c(111)	1653b(77)	9298
对照 CK	2094bc	1854c	1758cd	1610e	1576c	8891

注:括号内为各处理与对照积温的差值。
Note: The number in the bracket is the difference between treatments and CK.

从表1可以看出在观测期内起垄地膜覆盖的积温最高(9775℃),起垄地膜覆盖>起垄不覆盖>地膜覆盖>免耕>对照处理>秸秆覆盖。起垄地膜覆盖的地温最高是因为地温计埋在垄的顶部,起垄之后垄上部分形成一个梯形,所以它的实际地表面积要大于其他不起垄的处理,也就是说起垄处理要比其他处理接受更多的阳光照射,而且在垄上覆盖地膜,进一步提高了地温,所以起垄地膜覆盖的地温比其他处理的地温都要高,并且与其他处理均差异显著。

在5 cm土层,起垄地膜覆盖处理比对照积温高107℃,地膜覆盖比对照高5℃,差异不明显,秸秆覆盖比对照低123℃。从10 cm深度开始起垄覆膜和地膜覆盖与对照处理的积温差距加大,而秸秆覆盖和对照之间的积温差距则减少到30℃之内(表1),这说明秸秆覆盖主要是降低土壤表面的温度。

从表1可以看出免耕在5 cm土层的积温低于对照处理,可能是免耕处理的土壤表面比对照紧密,土壤密度大使免耕处理在5 cm的地温低于对照。从10 cm开始免耕处理的地温高于对照处理,但增

加的幅度都不大,只有在 20 cm 的深度比对照高 81℃,平均每天高 1℃。这表明免耕在 20 cm 深度平均每天可提高 1℃的地温,但在其他深度提高地温的作用并不明显。起垄处理在 5 cm 深度的增温作用好于地膜覆盖,但两者的差异不显著,在 5 cm 以下的增温幅度小于地膜覆盖,并在 20 cm 处差异显著。

2.2 对土壤水分效应分析

2.2.1 对 0~20 cm 土壤耕作层的影响 本试验所采用的处理可提高土壤耕作层的水分含量(表 2)。

由表 3 可以看出从 5 月 10 日播种到 5 月 19 日出苗这段时间没有降雨,只在播种前有 15.9 mm 的降雨。在 5 月 19 日的水分数据中起垄不覆盖的含水量最高(表 2),这与起垄之后小区地形的改变有很大的关系,因为起垄之后,表层水分向垄沟聚集,所以在垄沟处测的土壤含水量大于其他处理的含水量,但同时也能看出地膜和秸秆等地表覆盖物对降雨的下渗有一定的阻挡作用。到 7 月 23 日,起垄地

膜覆盖的含水量小于地膜覆盖处理的含水量应是起垄地膜覆盖处理只覆盖了垄上部分而垄沟却没有覆盖,使其地表裸露面积大于地膜覆盖处理的裸露面积,所以土面无效蒸发比地膜覆盖处理大,进而使其表层含水量小于地膜覆盖处理。8 月 15 日的测定值为起垄不覆盖>秸秆覆盖>地膜覆盖>免耕>起垄地膜>对照。在 7 月 23 日的测定值中,起垄不覆盖处理的表层含水量成为所有处理中最低的一个,是因为起垄不覆盖处理是所有处理中地表面积最大的一个,所以它的地表蒸发也最大,使其表层水分损失比较严重;而在 8 月 15 日的测定值中起垄不覆盖的表层土壤含水量又变为所有处理中含水量最高的一个处理,这是因为从 8 月 4 日到 15 日,一直都是断断续续的连阴雨天气,在这期间共降雨 47.28 mm,又因为起垄不覆盖处理是地表面积最大的处理而且又有垄沟的存在,所以其利用降水的能力也最强,造成起垄不覆盖处理的表层含水量在 8 月 15 日的测定值中成为最高值。

表 2 耕作层 0~20 cm 含水量(%)
Table 2 The moisture content in 0~20 cm tillage layer

处理方式 Treatments	日期 Date(M-d)				平均值 Average
	05-10	05-19	07-23	08-15	
秸秆覆盖 SM	10.84a	9.32f	12.74e	14.50b	11.85
地膜覆盖 PFM	10.84a	9.74d	16.28a	13.13c	12.50
起垄地膜覆盖 RPFM	10.84a	9.66e	14.58b	12.85d	11.98
对照 CK	10.84a	10.39c	13.39d	12.53e	11.79
免耕 NT	10.84a	11.12b	13.48c	12.87d	12.08
起垄不覆盖 RP	10.84a	12.11a	10.08f	14.86a	11.97

表 3 不同时期降雨量
Table 3 Rainfall in different periods

项目 Items	时间 Time(M-d)			
	05-07~ 05-08	05-10~ 05-19	05-20~ 07-23	07-24~ 08-15
降雨量(mm) Precipitation	15.9	0	127	47.28

2.2.2 对 100 cm 土壤储水量的影响 在整个观测期内各处理 0~100 cm 的土壤储水量大体上都呈升高~下降的变化趋势,但起垄不覆盖处理 0~100 cm 的储水量呈先下降再升高再下降的变化趋势(图 4)。经方差分析不同处理之间的 0~100 cm 的土壤储水量差异都不显著。

在观测期的大部分时间中都以黄豆对照处理的土壤储水量最高,只是到了观测后期对照处理的土壤储水量才低于起垄不覆盖和秸秆覆盖处理,但仍高于免耕处理、起垄地膜覆盖处理和地膜覆盖处理

(图 4)。这与观测到的耕作层的土壤含水量并不一致,出现这种结果的原因一方面可能是覆盖地膜之后,这些地膜在减少地表蒸发的同时还阻碍了降水对土壤水分的补充,使得深层土壤水分的向上运动成为土壤耕作层水分补给的主要途径,所以在覆盖地膜的小区土壤深层形成一个水分亏缺带;另一方面也可能与试验小区是刚刚建成,还不稳定有很大的关系。

3 结论与讨论

3.1 结 论

(1) 观测期内地温每天随土壤深度和时间的变化规律为:在 5 cm 和 10 cm 的深度 14:00 的地温最高,19:00 的地温次之,8:00 的地温最低。15 cm 是一个过渡带。在 20 cm 和 25 cm 的深度变化为 19:00 的地温为最高,14:00 次之,8:00 的地温最低,但在这 3 个时间点上的地温变化值要小于在 5 cm 和 10

cm 深度各时间点的地温变化值。但从整个观测期看不同土壤深度的地温随时间的变化都呈缓慢上升的趋势(以对照为例)。

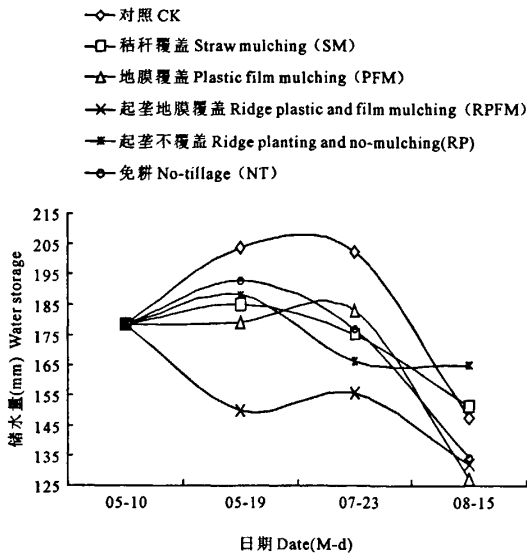


图 4 不同处理 0~100 cm 的储水量

Fig. 4 Water storage in 0~100 cm soil layer

从提高地温的角度看,起垄地膜覆盖提高地温的效果最好。地膜覆盖处理的增温效果在 5 cm 深度不如起垄处理和起垄地膜处理。而秸秆覆盖会降低地温,但主要是降低土壤表面的温度。试验还表明地膜覆盖大幅度增温的作用只有在天气晴朗太阳辐射强度较大的情况下才能充分体现出来。

(2) 从整个观测期的平均值来看,本试验所采用的处理都可以提高土壤耕作层(0~20 cm)的水分含量。

3.2 讨论

(1) 本研究表明在 6 种处理中,起垄地膜覆盖提高地温的效果最好,秸秆覆盖处理在每个层次的地温均低于对照。阴天及降雨时地膜覆盖的增温作用并不明显,这与多数研究结果相一致[3,7,11,12,16~18]。进入 7 月份之后地膜覆盖和起垄不覆盖的增温效果逐渐减弱,这可能是由于作物植株的不断生长对小区地面起了遮挡作用,从而使覆盖和起垄的增温效果逐渐减弱,这个结果也与一些研究结果相一致[3,19]。这表明地膜覆盖可以在作物生长的前期提高地温从而促进作物的生长和遮荫的增加,同时,在高温季节起到一定的降温作用。

(2) 本研究和前人研究结果都表明起垄处理、秸秆覆盖、免耕和地膜覆盖具有较好的保水效果[7,8,12,16,18,20,21]。在土壤耕作层所有处理的土壤

含水量都高于对照处理。在观测前期对照处理 0~100 cm 的土壤储水量高于任何一个处理,到观测后期起垄不覆盖和秸秆覆盖处理的 0~100 cm 土壤储水量高于对照处理,但其他几个处理的 0~100 cm 储水量仍然低于对照处理。这可能是因为观测前期起垄地膜覆盖处理、地膜覆盖处理和起垄不覆盖处理的出苗时间都比对照处理的出苗时间早,而且在播种之后到出苗之前也没有降雨,所以在出苗之前深层地下水的向上运动是土壤表层水分补给的一个重要途径;并且在出苗的第一天起垄地膜覆盖、起垄不覆盖和地膜覆盖处理的出苗率要远远高于对照处理的出苗率,作物对水分的消耗要大于对照处理;由于起垄之后引起地形的改变,使起垄不覆盖处理和起垄地膜覆盖处理的地表实际裸露面积均大于对照处理的地表裸露面积,再加上起垄地膜覆盖处理、地膜覆盖处理和起垄不覆盖处理的地温都高于对照处理的地温。观测后期地面植被覆盖率比较高,对地面起到了良好的遮蔽作用,减少了水分在土壤表面的无效蒸发,同时起垄处理的保水优势开始逐步体现出来,从而使起垄处理的土壤储水量又高于对照处理的土壤储水量,但起垄地膜覆盖处理和地膜覆盖处理由于地膜阻挡了降雨的入渗使土壤储水量低于对照处理。而秸秆覆盖处理在观测前期的土壤储水量变化相对比较平缓,之所以出现这个变化趋势,是因为秸秆覆盖之后地表水分先向秸秆移动,使秸秆覆盖处理的储水量低于对照处理,同时又由于覆盖了秸秆降低了地表裸露面积减少了地表水分的蒸发,到了观测后期随着降雨的逐渐增加使土壤水分得到补充,从而使秸秆的保水优势体现出来。免耕处理的 0~100 cm 储水量的变化趋势和对照处理非常相似,但在整个观测期都低于对照处理,这可能和试验是第一年进行小区条件还不稳定有一定的联系。

综上所述,起垄地膜覆盖提高地温的作用最好,并且起垄地膜覆盖处理在土壤耕作层的含水率也高于对照处理,并且出苗早,所以起垄地膜覆盖处理较其他几个处理更值得推广。

参考文献:

- [1] 穆兴民.黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用[J].农业工程学报,2000,(3):41—45.
- [2] 李丽君,高聚林,武向良,等.不同覆盖方式对大豆田水分动态及利用效率影响[J].大豆科学,2008,(4):262—266.
- [3] 闫志山,杨 骥,范有君,等.覆膜与直播早熟马铃薯不同耕层的地温测定[J].黑龙江农业科学,2007,(2):18—20.
- [4] 侯连涛,焦念元,韩 宾,等.不同覆盖方式对土壤水分分布的

- 影响[J].灌溉排水学报,2007,(2):48—50.
- [5] 韩晓增,乔云发,张秋英,等.不同土壤水分条件对大豆产量的影响[J].大豆科学,2003,(11):269—272.
- [6] 赵秉宝,李克煌.干旱与农业[M].北京:中国农业出版社,1995:254—332.
- [7] 薛少平,朱琳,姚万生,等.麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J].农业工程学报,2002,18(6):71—73.
- [8] 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率及产量的影响[J].中国农业科学,2004,37:208—214.
- [9] 王耀林.新编地膜覆盖栽培技术大全[M].北京:农业出版社,1998:1—34.
- [10] 赵素荣,张书荣,徐震,等.农膜残留污染研究[J].农业环境与发展,1998,(3):7—10.
- [11] 周凌云,周刘宗,徐梦雄.农田秸秆覆盖节水效应研究[J].生态农业研究,1996,4(3):49—52.
- [12] 陈素英,张喜英,刘孟雨.玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律[J].中国农业气象,2002,23(4):34—37.
- [13] 卜玉山,苗果园,周乃健,等.秸秆与地膜覆盖玉米农田土壤水分时空动态变化——兼评回归等值线法的应用[J].土壤学报,2004,41:795—802.
- [14] 张亚丽,张兴昌,邵明安,等.秸秆覆盖对黄土坡面矿质氮素径流流失的影响[J].水土保持学报,2004,18(1):85—88.
- [15] 华璐,李俊波,冯琰,等.地表径流中碱土金属流失规律及调控机制研究[J].农业环境科学学报,2005,24(1):89—93.
- [16] 王俊,李凤民,宋秋华,等.地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J].应用生态学报,2003,14:205—210.
- [17] Mahrer Y, Naot O, Rawitz E, et al. Temperature and moisture regimes in soils mulched with transparent polyethylene[J]. Soil Science Society of America Journal, 1984, 48:362—367.
- [18] 段德玉,刘小京,李伟强,等.夏玉米地膜覆盖栽培的生态效应研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(4):6—9.
- [19] 王有宁,王荣堂,董秀荣.地膜覆盖作物农田光温效应研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):134—136.
- [20] Unger P W. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield[J]. Soil Science Society of America Journal, 1978, 42:486—491.
- [21] 廖允成,温晓霞,韩思明,等.黄土台塬旱地小麦覆盖保水技术效果研究[J].中国农业科学,2003,36:548—552.

Effect of different cultivation measure on soil temperature and moisture in the Loess Plateau

YANG Kai¹, FENG Yong-zhong², LI Yong-ping², YANG Shi-qi³, YANG Gai-he²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: By using real-time monitoring and positioning mathematical simulation methods and selecting the typical water and wind erosion area in Shenmu in north China as the testing site, continuous determination was conducted of the ground temperature and soil moisture on different depths among six measures such as no-tillage, straw mulching and plastic film mulching. The results showed that: ridge plastic film mulching improves the ground temperature best, either for specific time at different depths or for the same depth at different times the ridge plastic film mulching treatment with the highest soil temperature. Its accumulated temperature is 10% higher than comparison treatment; and the soil temperature in straw mulching treatment is lower than the comparison treatment, while the accumulated temperature in straw mulching treatment is 2.3% lower than comparison treatment. This test has important practical and theoretical guidance value in selecting the best cultivation measure in ecologically fragile areas with water and wind erosion.

Key words: Loess Plateau; cultivation measure; soil moisture; ground temperature; effect