DOI: 10.5846/stxb201311272827
侯慧芝, 吕军峰,郭天文,张国平, 张平良,张绪成.西北黄土高原半干旱区全膜覆土穴播对土壤水热环境和小麦产量的影响.生态学报,2014,34(19):5503-5513.
Hou H Z, Lü J F,Guo T W,Zhang G P, Zhang P L, Zhang X C.Effects of whole field soil-plastic mulching on soil thermal-moisture status and wheat yield in semiarid region on Northwest Loess Plateau.Acta Ecologica Sinica,2014,34(19):5503-5513.

西北黄土高原半干旱区全膜覆土穴播对土壤水热环境和小麦产量的影响

侯慧芝, 吕军峰,郭天文,张国平, 张平良,张绪成*
(甘肃省农业科学院旱地农业研究所;甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 兰州 730070)

摘要:全膜覆土穴播是西北黄土高原旱作区大面积应用于密植作物栽培的关键增产技术,可显著提高降水利用率和作物生产力,但目前对其增产机制和环境效应缺乏系统研究分析。在 2011—2013 年以春小麦陇春 27 号为试验材料,设全膜覆土穴播(FMS)、地膜覆盖穴播(FM)和露地穴播(CK)3 个处理,研究半干旱旱作区全膜覆土穴播的土壤水热效应及其对小麦产量的影响。结果表明,小麦苗期 FMS 在 0—25 cm 土层的平均地温比 CK 提高 1.4—3.5℃,但孕穗到灌浆期正午地表地温比 FM 和 CK 分别降低 5.3—6.4℃和 3.1—4.3℃。FMS 和 FM 使小麦拔节前 0—200 cm 土层土壤贮水量分别增加 33.1 和 29.3 mm,且可促进小麦对深层水分(100—200 cm)的利用,FMS 成熟期 100—200 cm 土层土壤贮水量比播前下降 44.4—69.6 mm,较 CK 高 8.4—145.5%,但 FMS 在休闲期补充土壤水分 77—127 mm,分别较 FM 和 CK 增加 4.5%—40.9%和 12.8%—109.5%;FMS 的休闲效率为 30.5%—52.6%,比 CK 高 12.8%—109.5%,比 FM 高 4.5%—40.9%。基于对土壤水热环境和作物耗水的影响,FMS 的产量达 1750—3180 kg/hm^2,水分利用效率为 5.5—11.5 kg hm^{-2} mm^{-1},分别比 CK 增加 40%—220%和 27%—239%,而且干旱年份的增加幅度更高。因此,FMS 改善了小麦生长前期的土壤水热条件,调节作物不同生育期的耗水强度,显著提高作物水分利用效率和产量,并提高降水休闲效率,使小麦生育期耗散的土壤水分在休闲期得到有效补充。

关键词:旱地; 全膜覆土穴播; 小麦; 土壤水热效应; 产量; 休闲效率

Effects of whole field soil-plastic mulching on soil thermal-moisture status and wheat yield in semiarid region on Northwest Loess Plateau

HOU Huizhi, LÜ Junfeng,GUO Tianwen,ZHANG Guoping, ZHANG Pingliang, ZHANG Xucheng*
Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Efficient Utilization of Water in Dry Farming, Lanzhou 730070, *China*

Abstract: The main factors that limit wheat productivity on the northwestern Loess Plateau in China are drought, low temperature in spring, and the seasonal rainfall dynamics, which do not meet the water requirements of wheat. Efficient conservation of rainwater in the soil, and its utilization in the wheat-growing period, are the most important means of increasing wheat yield in this region. Whole-field plastic and soil mulching (i.e., the whole soil surface in a field is first mulched with plastic, on top of which a soil layer about 1 cm thick is spread), which is commonly used for high-planting-density crops on the Loess Plateau, could significantly improve rainfall use efficiency and crop productivity. However, no systematic analysis of the productivity increment and environmental effects of this technique has been undertaken previously. Spring wheat (*Triticum aestivum* cv. Lunchun 27) was selected as the test material for a field experiment conducted from

基金项目:甘肃省杰出青年基金项目(1210RJDA011); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201203031);国家自然科学基金项目(31060071)
收稿日期:2013-11-27; **修订日期**:2014-07-02

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

2011 to 2013 to study the effects of whole-field plastic and soil mulching on soil temperature, soil moisture, water use efficiency and wheat yield. The three treatments applied were 1) whole-field plastic and soil mulching and bunch seeding (FMS), 2) whole-field plastic mulching and bunch seeding (FM), and 3) soil uncovered and bunch seeding (CK). The seasonal soil water content, soil temperature, and wheat yield were recorded and the rainwater fallow efficiency, evapotranspiration, and water use efficiency were calculated. The FMS treatment increased average soil temperature in the 0—25 cm soil profile by 1.4—3.5 ℃ compared with CK at the seedling stage, and reduced the surface ground temperature by 5.3—6.4 ℃ and 3.1—4.3 ℃ compared with FM and CK, respectively, at 14:00 from the booting stage to the filling stage. Both FMS and FM treatments improved soil water storage in the 0—200 cm soil profile by 33.1 mm and 29.3 mm, respectively, compared with CK before the jointing stage. Water storage was lower at deeper soil depths (100—200 cm) in FMS and FM compared with CK. At the maturing stage, the soil water storage in the 100—200 cm soil profile of the FMS treatment decreased by 44.4—69.6 mm compared with before the seeding stage, which was 8.4—145.5% higher than that of CK. However, the soil water of the FMS treatment was recharged by 77—127 mm in the fallow period, which was 4.5—40.9% and 12.8—109.5% higher than that of FM and CK, respectively. The rainwater fallow efficiency of FMS was 30.5—52.6%, which exceeded that of CK and FM by 12.8—109.5% and 4.5—40.9%, respectively. Based on the regulatory effect of soil thermal-moisture status and crop water use, the wheat yield and water use efficiency of FMS were 1750—3180 kg/hm^2 and 5.5—11.5 kg hm^{-2} mm^{-1}, respectively, which were 40—220% and 27—239% higher than those of CK. The increased extent of yield and water use efficiency were higher in a dry year than that in a wet year. Consequently, FMS ameliorated soil thermal-moisture status, optimized wheat water use, and increased wheat water use efficiency and yield. Rainwater fallow efficiency was significantly higher in FMS, so the soil water consumed in the wheat-growing period was recharged completely in the fallow period, which is important for maintenance of the inter-annual soil water balance.

Key Words: rain-fed cropland; whole field soil-plastic mulching; spring wheat; soil water and heat status; yield; rainwater fallow efficiency

西北黄土高原半干旱区降水少、蒸发强、季节分布不均[1],降水与农作物供需错位是限制农业生产力提高、农业经济发展的主要因子[2-3]。尤其是常驻性干旱胁迫和春季低温使该区小麦产量长期处于低而不稳甚至绝收的境况[4-5]。地膜覆盖可改善耕层土壤水热状况[6],有效减轻干旱和春季低温对作物生长的危害[7-8],显著提高作物产量。近年来,在西北黄土高原半干旱区大面积推广应用的全膜覆土穴播技术(地膜平铺覆盖全部农田地面,然后在地膜上覆土 1—2 cm,用专用地膜穴播机播种),是对传统地膜小麦穴播技术的改进,能够大幅度提高小麦产量[8]。已有研究表明,全膜覆土穴播小麦能抑制地面的无效蒸发,提高水分利用效率,使小麦增产 30%以上[9-12],截止 2013 年该模式在甘肃省种植面积已累计超过 15 万 hm^2[13-14]。然而,目前对全膜覆土穴播小麦栽培技术的研究仅限于其增产效应方面[8-12],对其增产机制如水热效应、降水休闲效率和土壤水分年际持续性等方面的研究较少,尤其缺乏在大田定位试验条件下的系统分析。本试验以春小麦陇春 27 号为试验材料,在小麦全生育期测定土壤温度和土壤含水量,揭示全膜覆土穴播的土壤水热效应及其对小麦产量的影响,并结合该技术的降水休闲效率分析其对土壤水分年际持续性的影响,这一工作对探讨旱作区高产高效和生态安全的栽培技术体系有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2011—2013 年在甘肃省农业科学院定西试验站(104°36′ E, 35°35′ N)进行。该区海拔 1970 m,年平均气温 6.2℃,年辐射总量 5 898 MJ/m^2,年日照时数 2 500 h,≥10 ℃积温 2 075.1℃,无霜期 140 天,属中温带半干旱气候。作物一年一熟,无灌溉,为典型旱地雨养农业。平均年降水量为 415 mm,6—9 月降水量占年降水量的 68%,降水相对变率为 24%,400 mm 降水保证率为 48%。试验区土壤

为黄绵土,0—30 cm 土层平均容重 1.25 g/cm^3,田间持水量为 21.2%,永久凋萎系数为 7.2%。

根据甘肃省定西市唐家堡试验站气象资料统计(图 1),2011 年试验区全年降雨 346.4 mm,春小麦全生育期降雨 107.8 mm,4 月仅降雨 4.2 mm,6 月 13 日到收获前降雨占整个生育期降雨的一半以上,2011—2012 春小麦休闲期降雨 241.4 mm;2012 年试验区全年降雨 484.4 mm,春小麦全生育期降雨 219.3 mm,主要集中在 5、6 和 7 月,2012—2013 春小麦休闲期降雨 250.5 mm;2013 年试验区全年降雨 551.9 mm,春小麦生育期降雨 308.6 mm,但从 2 月 19 日到 4 月 18 日无降雨,7 月份降雨几乎占整个生育期降雨的一半。试验区降雨量极不稳定,且季节分配不均,与春小麦生育期需水规律不吻合。从每年 3 月底小麦播种到 5 月中旬小麦拔节试验区最低日均温为-4℃,平均为 8—10℃(图 1),而小麦种子发芽出苗的最适温度是 15—20℃,根系生长最适温度为 16—20℃。试验区春季低温对露地春小麦的出苗及小麦苗期、拔节期生长造成一定影响。

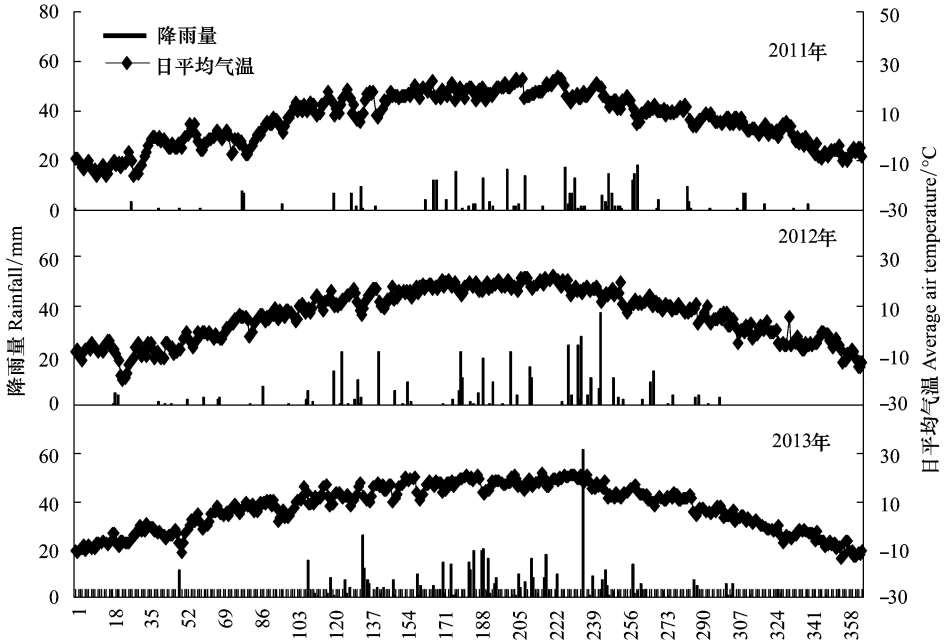

图 1　2011—2013 试验区全年降水分布和日平均气温

Fig.1　Distribution of rainfall and average air temperature in test areas from 2011 to 2013

1.2　试验设计

以春小麦陇春 27 号为试验材料,采用完全随机设计,设全膜覆土穴播(FMS 地膜平铺整个地面,在膜上覆土 1—2 cm)、地膜覆盖穴播(FM 地膜平铺整个地面,用土压紧地膜接缝,3—5 m 用土横压地膜,防止大风揭膜)和露地穴播(CK)3 个处理,每处理 3 次重复,小区面积 3 m×5 m = 15 m^2。本试验执行 3 年,3 个处理均利用地膜穴播机播种,每穴播(10±2)粒,行距为 20 cm,穴距为 13 cm。各处理施肥量均为 N 150 kg/hm^2,P_2O_5 180 kg/hm^2,K_2O 84 kg/hm^2,肥料在 2011 年播前一次性施入,2012 和 2013 年不再施肥。2011 年 3 月 23 日播种,7 月 19 日收获;2012 年 3 月 16 日播种,7 月 23 日收获;2013 年 3 月 20 日播种,7 月 30 日收获。FM 在 2012 和 2013 年免耕换膜,FMS 和 CK 3a 种植期间免耕(FMS 不换膜)。各处理全生育期不灌溉,除拔草外不进行其它管理。

1.3　测定指标及方法

1.3.1　土壤温度

土壤温度在 2011 年和 2012 年按小区定点定时测试。播种后每隔 7d 分别在 8:00、14:00、20:00 测定。测量土壤深度分别为 0 cm(地表)、5、10、15、20 cm 和 25 cm,每小区测定 1 个位点。

1.3.2　土壤贮水量、水分利用效率和休闲效率

在小麦播前、苗期、拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期用烘干称重法测定 0—200 cm 土壤含水量,测定步长为 20 cm。土壤贮水量(mm)计算公式为:

$$SWS = Ws \times b \times d$$

式中,Ws 为土壤含水量;b 为土壤容重;d 为土壤深度。水分利用效率(kg hm^{-2} mm^{-1})计算公式为:

$$WUE = Y/ET$$

其中,

$$ET = SWS_{BF} - SWS_{HA} + P$$

式中,Y 为小麦单位面积产量;SWS_{BF}为播前土壤贮水量;SWS_{HA}为收后土壤贮水量;P 为生育期降雨量。休闲效率(%)指农田休闲期,土壤对自然降水的保蓄率,计算公式为:

$$FE = (SWS_{BF+1} - SWS_{HA})/R \times 100$$

式中,SWS_{BF+1}为当季作物播前贮水量,SWS_{HA}为上季作物收后贮水量,R 为休闲期降雨量。

1.3.3 产量

成熟期每小区单打单收,晒干后统计实际产量,折合成公顷产量。

1.4 数据处理与分析

通过 Excel 2003 和 DPS 统计分析软件处理数据,采用 Tukey 法检验处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖方式对春小麦土壤温度状况的影响

2.1.1 不同覆盖方式对春小麦 0—25cm 土层平均温度的影响

从整个生育期看,3 个处理 0—25 cm 平均地温均表现为随生育期的递进地温逐渐升高。孕穗前,FM 和 FMS 0—25 cm 平均地温分别比 CK 高 1.6 和 1.4℃。孕穗到灌浆中期 FMS 和 FM 的增温效应明显减弱,与 CK 相比无显著差异;灌浆后期到成熟期 FMS 和 FM 0—25 cm 平均地温分别比 CK 高 1.0 和 0.7℃,但增温幅度明显小于孕穗前。

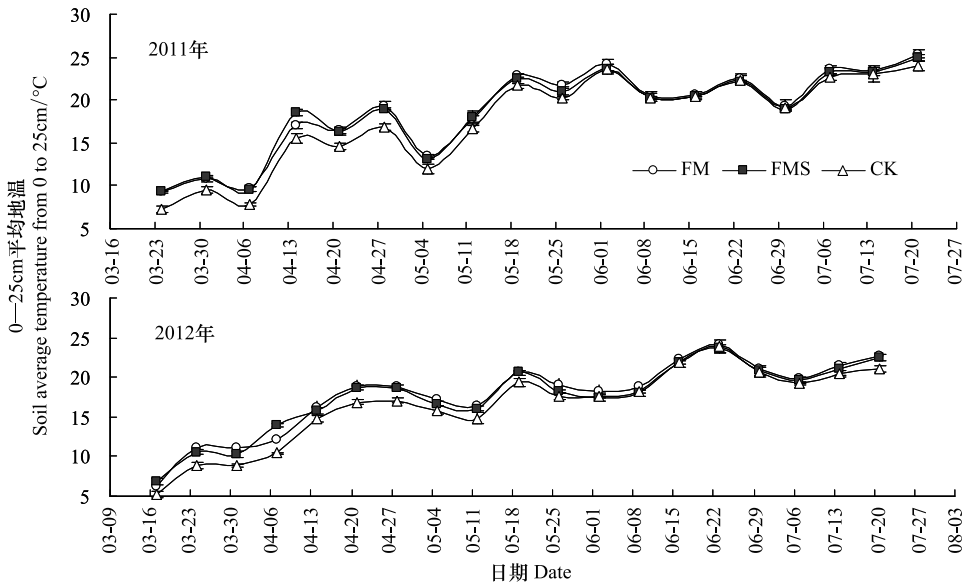

图 2 不同覆盖方式对小麦全生育期 0—25 cm 平均地温的影响

Fig.2 Effects of different mulching modes on soil average temperature from 0 to 25 cm during wheat growth period

2.1.2 不同生育阶段不同覆盖方式对 0—25cm 各层地温的影响

两年试验结果表明:苗期到拔节期 FMS 和 FM 在 0—25 cm 各层的地温均显著高于 CK(图 3)。2011 年 FMS 在 0、5、10、15、20 和 25 cm 土层的温度分别比 CK 高 0.8、1.5、2.0、2.2、2.5 和 1.8℃;2012 年 FMS 比 CK 分别高 1.3、1.3、1.5、1.9、1.8 和 1.5℃。孕穗到灌浆初期 FMS 地表温度显著低于 FM 和 CK,其余各层地温在处理间无显著差异(图 3)。灌浆到成熟期 FMS 和 FM 在各层的地温均高于 CK,其中,2011 年 FMS 比 CK 0、5、10、15、20 和 25 cm 的温度分别高 0.2、0.6、0.9、1.2、1.6 和 0.8℃;2012 年 FMS 比 CK 分别高 0.7、0.8、0.8、0.7、0.4 和 0.7℃,但此阶段温度的增加幅度明显低于苗期到拔节期。由于 2011 年小麦生育期降雨较少,所以 2011 年同期所有处理各层的温度均高于 2012 年。与 FM 相比,除孕穗到灌浆初期 FMS 地表地温明显低于 FM 以外,其余各生育阶段各层两个处理的地温均无显著差异。

2.1.3 不同覆盖方式在不同生育阶段对春小麦不同土层温度日变化的影响

早 8:00 地温随土层加深温度上升;14:00 地温则随土层加深而下降;20:00 地温随土层加深先升高,到 10 cm 处达最大,后又逐渐下降(表 1)。从苗期到拔节期,FMS 在 8:00 和 20:00 各土层温度均明显高于 CK,在 14:00 地表的地温比 CK 低 1.8—2℃;从孕穗到灌浆初期,FMS 在 14:00 的地表地温比 CK 低 3.1—4.3℃,其余各层在各时段地温和 CK 相比增减无规律性,且差异不明显;从灌浆到成熟期,FMS 14:00 的地表地温比 CK 低 1.6—2.8℃,其余各层在各时段地温均略高于 CK。

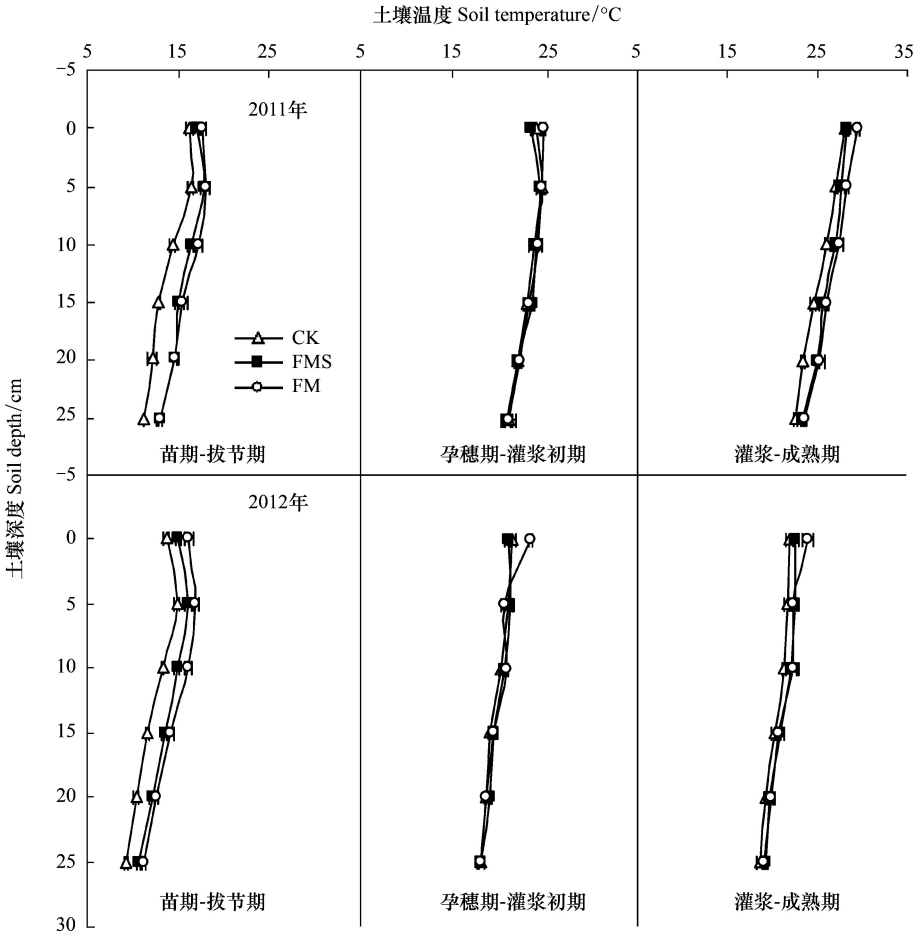

图 3　不同生育阶段不同覆盖方式对 0—25 cm 各层地温的影响

Fig.3　Effects of different mulching modes on soil temperature of every layer at different stages

FMS 与 FM 相比 5—25 cm 各层 8:00、14:00 和 20:00 的地温差异不明显,但在 14:00,苗期到拔节期 FMS 的地温比 FM 低 1.9—2.6℃,孕穗到灌浆初期低 5.3—6.4℃,灌浆到成熟期低 2.6—2.9℃。

表 1　各处理不同生育阶段不同土层温度日变化

Table 1　The diurnal variation of temperature at different layers changes in different stages

年份 Year	生育阶段 Grow stage	层次 Soil depth	8:00			14:00			20:00		
			FM	FMS	CK	FM	FMS	CK	FM	FMS	CK
2011	苗期-拔节期	0	6.3a	6.6a	4.9b	33.7a	31.1b	33.1a	12.6a	12.9a	10.3b
	Seeding-Jointing	5	8.7a	8.6a	8.2a	26.8a	26.8a	24.5b	18.3a	17.9a	16.1b
		10	10.2a	9.9a	7.5b	21.8a	19.8b	18.7c	19.4a	18.8a	16.4b
		15	10.3a	10.2a	8.3b	17.3a	16.2a	14.7b	18.3a	18.4a	15.2b
		20	11.7a	11.7a	9.3b	14.6a	14.8a	12.4b	17.0a	17.1a	14.2b
		25	11.6a	11.8a	9.8b	12.6a	12.2a	10.7b	14.5a	14.4a	12.6b

续表

年份 Year	生育阶段 Grow stage	层次 Soil depth	8:00			14:00			20:00		
			FM	FMS	CK	FM	FMS	CK	FM	FMS	CK
	孕穗期-灌浆初期	0	15.3a	15.8a	14.6a	36.3a	30.1b	37.1a	22.7a	23.2a	22.9a
	Booting-Filling	5	16.5a	16.6a	16.1a	32.6ab	31.8b	32.9a	24.4a	24.7a	24.4a
		10	17.9a	17.8a	17.3a	28.0a	27.9a	27.7a	26.3a	26.0a	25.9a
		15	18.4a	19.2a	18.6a	25.1a	25.6a	24.9a	25.8a	25.4a	25.1a
		20	19.4a	19.3a	18.8a	22.4a	22.3a	22.4a	24.4a	24.3a	24.3a
		25	19.9a	19.4a	19.1a	20.3a	20.3a	21.4a	22.4a	22.3a	22.1a
	灌浆中期-成熟期	0	16.4a	16.1a	14.8b	44.3a	41.7b	43.a	28.4a	27.8ab	26.9b
	Filling-Maturing	5	17.6a	17.2ab	16.6b	37.6a	36.9a	37.0a	30.4a	29.2b	27.9c
		10	18.8a	18.6a	17.8a	33.0a	32.2a	31.5a	31.3a	30.8a	29.5b
		15	19.8a	19.5a	18.8a	28.5a	28.2a	26.4b	30.6a	30.0a	28.9b
		20	21.8a	21.7a	20.9b	25.7a	25.6a	24.3b	29.0a	28.5a	25.6b
		25	21.9a	21.3a	21.1a	23.0a	22.8a	21.2b	26.6a	26.7a	26.0a
2012	苗期-拔节期	0	4.7a	4.1a	1.4b	31.2a	29.6b	31.4a	11.8a	10.5b	7.5c
	Seeding-Jointing	5	7.6a	7.4a	5.7b	25.0a	24.3b	23.0c	17.2a	16.0b	15.1c
		10	9.0a	9.4a	6.1b	20.6a	17.9b	17.8b	18.0a	16.6b	15.4c
		15	9.3a	9.6a	6.5b	15.4a	14.5b	13.4c	16.9a	15.8b	14.1c
		20	9.8a	9.9a	7.0b	12.4a	11.7b	10.8c	14.7a	14.3a	12.6b
		25	10.2a	10.4a	7.5b	10.2a	9.3b	8.7c	12.6a	11.7b	10.8c
	孕穗期-灌浆初期	0	14.4a	12.7b	11.5c	36.6a	30.2b	37.5a	19.3ab	19.9a	18.4b
	Booting-Filling	5	14.8a	14.5a	13b	25.7c	27.1b	28.8a	21.3a	21.7a	21.3a
		10	15.2a	15.1a	14.8a	24.8a	24.4a	24.1a	22.5a	22.3a	21.8a
		15	15.4a	15.3a	15.0a	21.2a	21.5a	21.8a	21.6a	21.5a	20.5b
		20	16.4a	16.3a	16.0a	19.3a	19.6a	19.8a	20.3a	20.9a	20.2a
		25	16.8a	16.9a	16.6a	17.9a	17.8a	17.8a	19.2a	19.4a	19.6a
	灌浆中期-成熟期	0	15.0a	14.5a	12.8b	33.5a	31.0b	33.8a	23.5a	22.8a	19.5b
	Filling-Maturing	5	15.8a	16.0a	14.2b	27.8a	27.3a	28.3a	24.0a	24.4a	22.9b
		10	17.0a	16.8a	15.5b	25.5a	25.3a	25.0a	24.5a	24.7a	23.9a
		15	17.3a	17.2a	16.7a	22.2a	22.3a	21.8a	23.2a	23.7a	22.5a
		20	17.7a	17.8a	17.1a	20.8a	20.6a	20.4a	21.6a	21.3a	21.0a
		25	17.8a	17.9a	17.3a	19.5a	19.8a	19.0a	20.6a	20.4a	19.8a

各时间段同一行不同字母表示处理差异显著($P<0.05$)

2.2 不同覆盖方式对春小麦土壤水分状况的影响

2.2.1 不同覆盖方式对春小麦生育期内阶段贮水量的影响

不同覆盖方式春小麦田 0—200 cm 土壤贮水量季节变化与小麦生育进程和降雨分布密切相关(图 4)。3a 试验结果显示:FMS 和 FM 0—200 mm 的贮水量在拔节前分别比 CK 高 33.1 和 29.3 mm,拔节到灌浆低于 CK,灌浆到成熟期又高于 CK。

2011 年,试验区春小麦生育期内降雨偏少,且大多为无效降雨,小麦田 0—200 cm 土壤贮水量季节变化趋势较为平稳,3 个处理均表现为随生育期的推进,贮水量逐渐减少。2012 年播前各处理的底墒较好,0—200 cm 土壤贮水量均比 2011 年播前高,土壤贮水量在处理间表现为 FMS>FM>CK。苗期 20.7 mm 降雨后,FMS 和 CK 的贮水量与播前相比变化不大,FM 比播前略有增加。拔节期小麦生长逐渐旺盛,FMS 和 FM 的土壤水分大量消耗,降雨 77.4 mm 后覆膜处理 0—200 cm 的贮水量比苗期明显下降;而 CK 贮水量反而比苗期增加 26.1 mm。孕穗期土壤贮水量明显减少,FMS、FM 和 CK 此阶段 0—200 cm 土壤贮水量分别为 254.4、251.7 和 265.9 mm。灌浆期各处理的土壤贮水量与孕穗期相比基本没有变化,且 FMS 和 FM 的贮水量均小于 CK。成熟期降雨 59.7 mm,各处理 0—200 cm 土壤贮水量均比灌浆期

增加,且 FMS 和 FM 均比 CK 增加幅度大,表现出良好的蓄水保墒效果,此时 FMS、FM 和 CK 的贮水量分别达到 283.7、287.0 和 277.8 mm。2013 年春小麦田 0—200 cm 土壤贮水量随季节变化规律与 2012 年类似。由于 2013 年小麦生育期降雨较 2012 年多,所以 2013 年同期各处理的土壤贮水量都较 2012 年高。

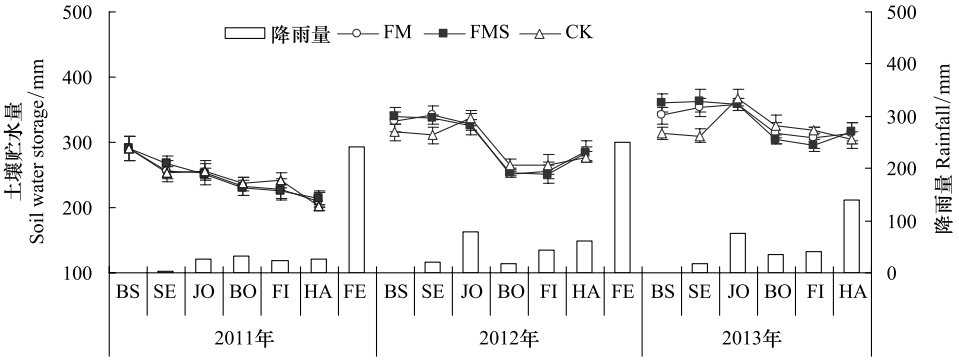

图 4　不同覆盖方式春小麦田 0—200 cm 土壤贮水量季节变化

Fig.4　Seasonal dynamics of soil water storage in 0—200 cm profile of different mulching methods

BS:播前 Before sowing;SE:苗期 Seeding;JO:拔节期 Jointing;BO:孕穗期 Booting; FI:灌浆期 Filling;HA:成熟期 Harvesting;FE:休闲期 Fallow efficiency

2.2.2　不同覆盖方式对春小麦播前和收后 0—200 mm 土壤贮水量垂直分布的影响

不同覆盖方式对播前和收后土壤贮水量有明显影响(图 5)。3a 试验结果显示:FMS 和 FM 播前 0—200 cm 各层的土壤贮水量均大于 CK,说明休闲期覆膜处理能充分蓄存降水,为下一年作物的生长提供充足的水分。FMS 和 FM 收后 0—100 cm 的土壤贮水量均高于 CK,100—200 cm 的土壤贮水量均低于 CK。FMS 在 100—200 cm 土层土壤贮水量收后比播前减少 44.4—69.6 mm,比 CK 高 8.4—145.5%,说明 FMS 在小麦生长期间把深层水分提升到耕作层以满足小麦的生长。

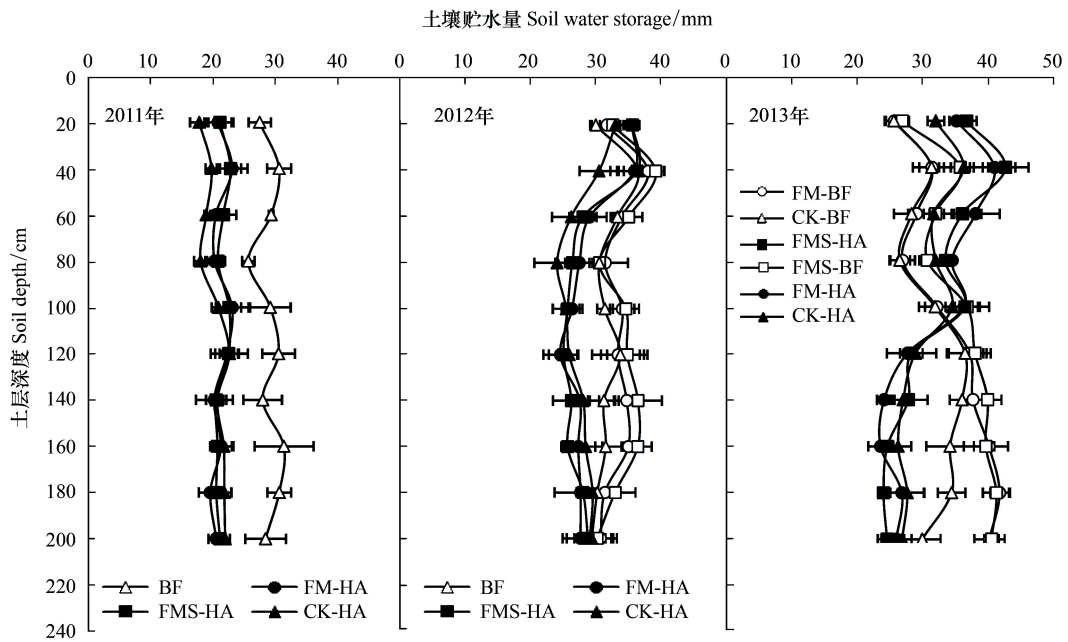

图 5　不同覆盖方式对小麦播前和收后 0—200 cm 土壤贮水量的影响

Fig.5　Effects of different mulching modes on soil water storage in 0—200 cm before sowing and harvest of wheat

BF: 播前 Before sowing; FM-BF:FM 播前 Before sowing of FM; FMS-BF: FMS 播前 Before sowing of FMS; CK-BF: CK 播前 Before sowing of CK; FM-HA: FM 收后 After harvesting of FM; FMS-HA: FMS 收后 After harvesting of FMS; CK-HA: CK 收后 After harvesting of CK

2011 年,0—100 cm FMS 和 FM 收获后的土壤贮水量分别较播前减少 34.0 和 35.3 mm,分别较 CK 收获后的贮水量高 13.9 和 12.6 mm;在 100—200 mm FMS、FM 和 CK 收获后的土壤贮水量分别较播种前减少 44.4、46.1 和 41.0 mm,处理间无显著差异。2012 年,在 0—100 cm 土层,FMS 和 FM 收获后的土壤贮水量分别较播前减少 20.3 和 15.1 mm,分别较 CK 收获后的贮水量高 13.0 和 15.4 mm;在 100—200 mm 土层,FMS、FM 和 CK 收获后的土壤贮水量分别较播前减少 37.8、31.1 和 15.4 mm,两个覆膜处理与 CK 之间均有显著性差异。2013 年,播前一个多月到播后 20d(2 月 19 日到 4 月 18 日)无降雨,而灌浆中期到成熟期(7 月 2 日到 28 日)降雨 140 mm,各处理收后 0—100 cm 的土壤贮水量明显高于播前。0—100 cm FMS 和 FM 收获后的土壤贮水量分别较播前增加 39.6 和 23.2 mm,分别较 CK 收获后的贮水量高 18.8 和 18.5 mm;在 100—200 mm FMS、FM 和 CK 收获后的土壤贮水量分别较播前减少 69.6、68.3 和 34.1 mm,两个覆膜处理与 CK 之间差异显著。

2.2.3 不同覆盖方式在整个春小麦生育期对土壤耗水量的影响

不同覆盖方式下小麦耗水量存在差异(图 6)。2011 年 3 个处理的耗水量无显著差异;2012 年 FMS 全生育期的耗水量最高,为 276.0 mm,FM 的耗水量为 264.3 mm,二者分别比 CK 高 8.0%和 2.9%,但处理间无显著差异;2013 年 FMS 和 FM 耗水量分别为 353.0 mm 和 335.5 mm,比 FM 和 CK 分别高 11.0%和 5.2%,其中,FMS 和 CK 达显著差异。

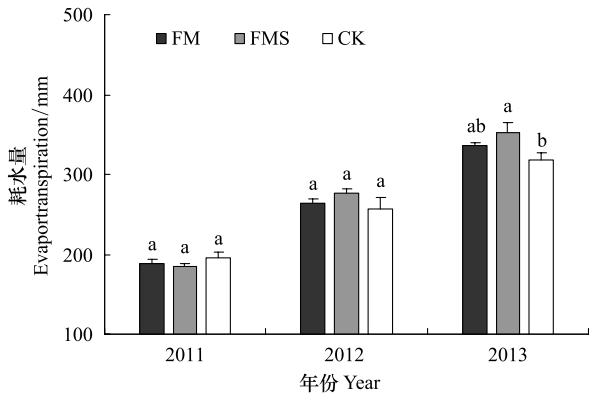

图 6 不同覆盖方式对小麦耗水量的影响

Fig.6 Effects of different mulching modes on evaportranspiration of wheat

2.2.4 不同覆盖方式对降水休闲效率的影响

FMS 两年的休闲效率均显著地高于 CK(图 7)。其中,2011—2012 年休闲期降雨量为 241.4 mm,FMS、FM 和 CK 0—200 cm 的土壤贮水量分别增加 127.0、121.6 和 112.6 mm,FMS 的休闲效率为 52.6%,比 FM 和 CK 分别高 4.5%和 12.8%;2012—2013 年休闲期降雨量为 250.5 mm,FMS、FM 和 CK 0—200 cm 的土壤贮水量分别增加 76.5、54.3 和 36.5 mm,FMS 的休闲效率为 30.5%,比 FM 和 CK 分别高 40.9%和 109.5%。

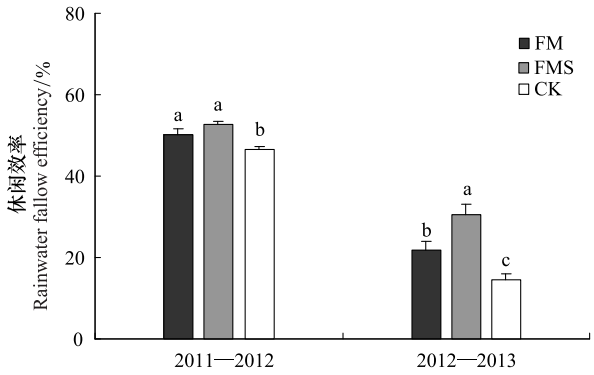

图 7 不同覆盖方式对休闲期降水休闲效率的影响

Fig. 7 Effects of different mulching modes on rainwater fallow efficiency

2.3 不同覆盖方式对春小麦产量及水分利用效率的影响

2.3.1 不同覆盖方式对春小麦产量的影响

2011 年试验区春小麦整个生育期降雨不足 110 mm,尤其在小麦出苗期有效降雨偏少(3 月底播种后,4 月降雨仅为 3.2 mm),致使小麦的出苗受到严重影响,CK 产量仅为 540 kg/hm^2,FMS 的产量在 1750 kg/hm^2 左右,达到 CK 的 3 倍,FM 的产量为 1390 kg/hm^2,与 CK 达到显著性差异,两个覆膜处理均表现出较好的增产效果。2012 年春小麦生育期降雨 219.7 mm,属于丰水年份,FMS 和 FM 的产量为 3179 kg/hm^2 和 3248 kg/hm^2,分别比露地增产 39.5%和 42.5%。2013 年春小麦生育期降水 325.1 mm,在西北黄土高原半干旱区属于罕见的丰水年份,但降雨的季节分配存在很大差异,从 3 月底小麦播种到 4 月 18 日无降雨,严重影响了小麦出苗;6 月 24 日以后到小麦收获前降雨达 156.5 mm,约为整个生育期降雨的一半,严重影响了小麦籽粒的灌浆,致使各处理产量均有大幅度降低,FMS 产量为 1945

kg/hm^2,FM 产量为 1610 kg/hm^2,分别比 CK 高 40.4%和 16.2%,其中,FMS 和 CK 到显著差异。

2.3.2　不同覆盖方式对小麦水分利用效率的影响

从 2011—2013 年,两个覆膜处理的水分利用效率均高于 CK。其中:2011 年 FMS 和 FM 的水分利用效率为 9.45 和 7.37 kg hm^{-2} mm^{-1},分别比 CK 增加 239%和 164%;2012 年 FMS 和 FM 的水分利用效率为 11.5 和 12.3 kg hm^{-2} mm^{-1},分别比 CK 增加 29.7%和 38.4%;2013 年 FMS 和 FM 的水分利用效率为 5.5 和 4.8 kg hm^{-2} mm^{-1},分别比 CK 增加 26.9%和 10.5%。2011 年试验区春小麦生育期降雨量不足 110 mm,远远低于 2012 和 2013 年。由此可见,与 CK 相比,FMS 在越干旱的年份 WUE 增加幅度越大。

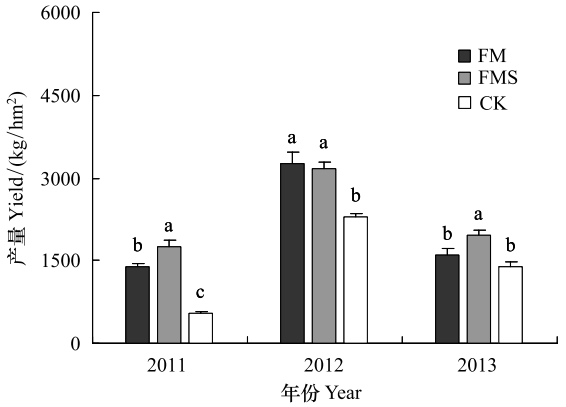

图 8　不同覆盖方式对小麦产量的影响

Fig.8　Effects of different mulching modes on yield

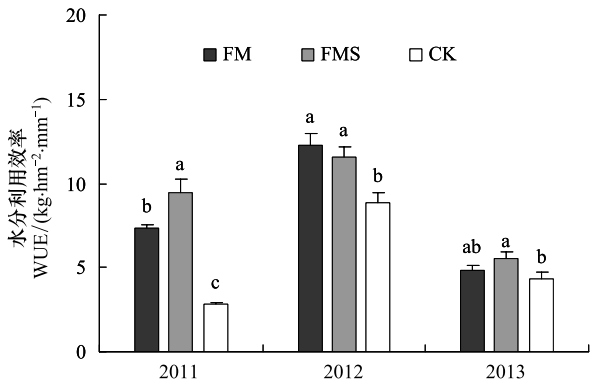

图 9　不同覆盖方式对小麦水分利用效率的影响

Fig.9　Effects of different mulching modes on WUE

3　结论与讨论

地膜覆盖的增温效应影响作物的生育进程。生长前期因冠层覆盖度低,地膜覆盖的土壤增温效果显著;生长中期,由于地膜改善了小麦的水热条件,更有利于作物地上部分的生长,因此发达的冠层遮荫导致增温作用减弱;生长后期叶片逐渐衰老死亡,地面覆盖度降低,地膜覆盖的增温效果又趋增强,所以全生育期覆膜的增温效应呈“U”型变化趋势[15-19]。本试验表明,FMS 较 CK 在小麦孕穗前有明显的土壤增温效果,孕穗后的增温效果不明显甚至负增长,灌浆末期到成熟期 0—25 cm 的增温效果又趋明显,与前人研究结果类似[15-19]。小麦苗期温度对根系和叶片生长有明显的影响,随温度的升高,单株叶片和干物质积累增加,为以后的生长发育打下一个良好的基础。地膜覆盖能显著增加根层 0—5 cm 的土壤温度[20],本试验条件下,FMS 在小麦苗期提高 0—25 cm 各层地温,为春小麦齐苗壮苗提供了保障。尤其重要的是,FMS 在 8:00 和 20:00 能提高春小麦各个生长阶段 0—25cm 各层地温,但14:00的地表地温均低于 FM 和 CK,这一效果在高温时期(孕穗至灌浆初期)更加明显,FMS 地表温度比 FM 降低 5.3—6.4℃,比 CK 降低 3.1—4.3℃。造成这一结果的原因可能是试验区此阶段气温较高,正午正是太阳直射的时候,FMS 由于覆膜后又在表面覆了一层土,对太阳光的直射有一定削弱,地表温度明显低于 FM 和 CK。这对缓解伏期高温胁迫对小麦的生长有重要意义,而且 FMS 的这一降温效应对晴天中午的地表温度(0—5 cm)尤为显著。因此,FMS 不仅能够提高春季低温时期的土壤温度,而且能够降低夏季高温时段的土壤温度尤其是地表温度,并降低土壤温度的昼夜变化幅度,避免小麦根系受到高温危害,有利于小麦生长。

优化小麦生育期内的水分利用,是提高水分利用效率的关键。地膜覆盖可以通过防止蒸发和提升土壤深层水分至作物可利用层来增加土壤中有效水分含量,利于作物利用[21]。地膜覆盖后,耕层土壤含水量增加 1%—4%[20],改善的地表水温条件促进作物耗水,若后期降水不足,中下部丰富的根系不能发挥作用,导致产量下降[22]。本研究发现,FMS 和 FM 能提高拔节期以前 0—200 cm 的贮水量(分别比 CK 高 33.1 和 29.3 mm),拔节以后,由于 FMS 的小麦生长旺盛,消耗大量的土壤水分,致使 0—200 cm 土壤贮水量急剧下降,甚至低于 CK,但休闲期覆膜处理能充分接纳降水,为下一年作物的生长提供充

足的水分。本试验中 FMS 和 FM 每年播前 0—200 cm 各层的土壤贮水量均大于 CK;FMS 和 FM 收后 0—100 cm 的土壤贮水量均高于 CK,100—200 cm 的土壤贮水量均低于 CK,FMS 100—200 cm 收后比播前减少 44.4—69.6 mm,比 CK 收后与播前减少量增加 8.4—145.5%,说明 FMS 能促进小麦对深层水分的高效利用。

西北黄土高原半干旱区每年有近 60%的降雨集中在春小麦休闲期,此阶段是土壤水分补充、恢复时期,此期土壤贮水量决定着旱地小麦播前底墒的丰欠,是影响旱地小麦产量波动的重要因素[23]。因此,休闲效率的高低对来年小麦的生长有重要作用。本试验中 FMS 可抑制土壤水分蒸发,缓解土壤水分耗散,提高休闲期 0—200 cm 土壤贮水量的增值(比 CK 播前到上年收后的土壤贮水量增值高 14—40 mm)和降水休闲效率(比 CK 提高 12.8%—109.5%),使小麦生长期耗散的土壤水分得到有效补充,改善下季作物的土壤水分条件,确保土壤水分的年际平衡,为土壤水分的可持续利用奠定基础,有效解决土壤干旱造成的土地生产力低下的问题。

基于对土壤水热条件的优化和深层水分的利用,FMS 可大幅度提高小麦产量及水分利用效率。其中,FMS 产量达 1750—3180 kg/hm^2,比 CK 增加 40%—220%;水分利用效率为 5.5—11.5 kg hm^{-2} mm^{-1},比 CK 增加 27%—239%,而且这一增产效果在干旱年份更加显著。虽然 FMS 消耗了较多的土壤深层水分,但由于具有抑制蒸发和促进水分入渗的特点,所以在小麦生育期耗散的水分可在休闲期得到补充,本试验结果表明,采用 FMS 种植小麦 3a 后,0—100 cm 土层的土壤贮水量增加了 43.2 mm,较 CK 增加了 18.8 mm;100—200 cm 土层的土壤贮水量减少了 19.4 mm,较 CK 减少了 7.4 mm。证明 FMS 不仅可以高效利用自然降水,而且对维持土壤水分的年际平衡有积极作用。

References:

[1] Xiao G J, Wang J. Research on progress of rainwater harvesting agriculture on the Loess Plateau of China. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 1003-1011.

[2] Li F M, Zhao S L, Geballe G T. Water use patterns and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. Agriculture Ecosystems and Environment, 2000, 79: 129-142.

[3] Wang H L, Zhang X C, Song S Y, Ma Y F, Yu X F, Liu Y L. Effects of whole field-surface plastic mulching and planting in furrow on soil temperature, soil moisture, and corn yield in arid area of Gansu Province, Northwest China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(10): 2609-2614.

[4] Wang J. The effects of spring drought on spring wheat in the semi arid areas. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1996, 10 (3): 56-62

[5] Shi X X. Variations of soil moisture during the growth phase of main crops in Semiarid Region in Gansu. Journal of Arid Meteorology, 2011, 29(4): 461-465.

[6] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat. Field Crops Research, 1999, 63: 79-86.

[7] Shan L. Water saving agriculture and of crop high efficient use of water. Journal of Henan University (Natural Science), 2003, 33 (1): 1-5.

[8] Shan L. Plant drought resistance and semi-dryland farming. Agriculture Research in Arid Area, 2007, 25(1): 1-5.

[9] Hou H Z, Lü J F, Guo T W, Zhang P L. Effects of film mulched soil and bunch seeded wheat in Semi arid Region on soil moisture content and grain. Yield crops, 2010, 1: 13-15.

[10] Zhang P L, Guo T W, Hou H Z, Lü J F. Effects of different cultivation and balanced fertilization on spring wheat yield and water use efficiency in semiarid areas. Agriculture Research in the Arid Areas, 2012, 30(1): 132-137.

[11] He C Y, Zhou X C, Zhang L J, Du J Y, Zhou J, Lu Q L, Bai B, Zhou G. Study on the winter wheat yield under zero-tillage bunch-planting technology of film mulching with soil during the whole growth period and all surface. Journal of Wheat Research. 2010, 31(2): 1-10.

[12] He C Y, Zhou X C, Du J Y, Lu Q L, Zhang L J, Zhou J, Bai B, Zhou G. Study on winter wheat yield under technology of no tillage, bunch planting, whole film and soil mulching during whole growth. Research of Agricultural Modernization, 2010, 31 (6): 746-749.

[13] The research and demonstration of whole field soil -plastic mulching achieved a major breakthrough in Gansu province. Gansu Agricultural Technology Extension Station. (2012-03-08) [2013-11- 27]. http://www. gsnjtg. com/xpzxjs/ShowArticle. asp?ArticleID=748.

[14] Wang Z X. Growth of whole field soil -plastic mulching is well in Gansu. China agricultural information network. (2013- 04- 10) [2013-11-27]. http://www.agri.gov.cn/V20/ZX/qgxxlb_1/qg/201304/t20130410_3429142.htm.

[15] Wen X X, Han S M, Zhao F X, Liao Y C, Li G. Research on ecological effect of wheat with plastic film in dry land. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2003, 11(2): 93-95.

[16] Du S N, Bai G S. Studies on effects of plastic film mulching on soil environment of maize field. Agriculture Research in Arid

Area, 2007, 25(5): 56-59.

[17] Zhang B J, Han H, Zhu F M, Zhang A Y. Studies on the tendency change of temperature of soil of dibbling wheat in film-mulched field. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(1): 59-62.

[18] Wang Y N, Wang R T, Dong X R. Cool soil effect of film-covering on cotton, maize and soybean fields. Agricultural Meteorology, 2003, 24(4): 45-47.

[19] Chen Y H, Zhang S Q, Tian H Y, Chen W. Effects of plastic mulch and manure on soil temperature and water consumption of winter wheat. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(3): 59-63

[20] Li S Q, Li D F, Li F M, Bai H Y, Ling L, Wang J. Soil ecological effects of plastic film mulching in semiarid agro ecological system. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2003, 31(5): 21-29.

[21] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plasticmulching on soil water use and spring wheat yield in arid region ofnorthwest China. Agricultural Water Management, 2005, 75 (1): 71-83

[22] Xue S Y, Zhu L, Yao W S, Han W T. Influence of straw and plastic-film mulching on sustainable production of farmland. Transactions of the CSAE, 2002, 18(6): 71-73.

[23] Li Q, Gao Z Q, Sun M, Dong Q, He L H. Effect of Fertilizer and mulch on soil water content before sowing and the relationship analysis about soil water content and yield in fallow period in wheat under dryland condition in drought year. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(9): 112-116.

参考文献:

[1] 肖国举, 王静. 黄土高原集水农业研究进展. 生态学报, 2003, 23(5): 1003-1011.

[3] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 马一凡, 于显枫, 柳燕兰.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. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2609-2614.

[4] 王静. 半干旱地区春旱对春小麦生长发育的影响. 干旱区资源与环境, 1996, 10(3): 56-62.

[5] 史晓霞. 黄土高原半干旱区主要作物生育期土壤水分变化. 干旱气象, 2011, 29(4): 461-465.

[7] 山仑. 节水农业与作物高效用水. 河南大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 1-5.

[8] 山仑. 植物抗旱生理研究与发展半旱地农业. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 1-5.

[9] 侯慧芝, 吕军峰, 郭天文, 张平良. 全膜覆土穴播小麦最佳播种密度的研究. 作物杂志, 2011(3): 101-104.

[10] 张平良, 郭天文, 侯慧芝, 吕军峰. 不同穴播种植方式与平衡施肥对旱地春小麦产量及水分利用效率的影响. 干旱地区农业研究, 2012(1): 132-137.

[11] 何春雨, 周祥椿, 张礼军, 杜久元, 周洁, 鲁清林, 白斌, 周刚. 全膜免耕栽培技术对冬小麦产量效应的研究. 小麦研究, 2010, 31(2): 1-10.

[12] 何春雨, 周祥椿, 杜久元, 鲁清林, 张礼军, 周洁, 白斌, 周刚. 全膜覆土免耕穴播栽培技术对冬小麦产量效应的研究. 农业现代化研究, 2010, 31 (6): 746-749.

[13] 我省小麦全膜覆土穴播技术研究与示范推广取得重大突破. 甘肃省农业技术推广总站. (2012-03-08) [2013-11-27]. http://www.gsnjtg.com/xpzxjs/ShowArticle.asp? ArticleID=748.

[14] 王朝霞. 甘肃全膜覆土穴播小麦长势良好. 中国农业信息网. (2013-04-10) [2013-11-27]. http://www.agri.gov.cn/V20/ZX/qgxxlb_1/qg/201304/t20130410_3429142.htm.

[15] 温晓霞, 韩思明, 赵风霞, 廖允成, 李岗. 旱作小麦地膜覆盖生态效应研究. 中国生态农业学报, 2003,11(2): 93-95.

[16] 杜社妮, 白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 56-59.

[17] 张保军, 韩海, 朱芬萌, 张爱英. 地膜小麦土壤温度动态变化研究. 水土保持研究, 2000, 7(1): 59-62.

[18] 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. 中国农业气象, 2003, 24(4): 45-47.

[19] 陈玉华, 张岁岐, 田海燕, 陈炜. 地膜覆盖及施用有机肥对地温及冬小麦水分利用的影响. 水土保持通报, 2010, 30(3): 59-63.

[20] 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.

[22] 薛少平, 朱琳, 姚万生, 韩文霆. 麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响. 农业工程学报, 2002, 18(6): 71-73.

[23] 李青, 高志强, 孙敏, 董琦, 贺立恒. 偏旱年休闲期施肥覆盖对旱地小麦播前土壤水分的影响及其与产量的相关分析. 中国农学通报, 2013, 29(9): 112-116.