

不同灌水水平下少耕地膜覆盖对玉米农田土壤温度 and 水分利用效率的影响

赵 财, 陈桂平, 柴 强, 于爱忠, 殷 文

(甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 以大田玉米为研究对象, 在少耕地膜覆盖和不同灌水水平下, 研究了一膜两年用地膜覆盖、秋免耕春覆膜和传统耕作覆膜对玉米农田土壤温度和水分利用效率(WUE)的影响。结果表明: 与传统耕作覆膜和秋免耕春覆膜两种新膜覆盖处理相比, 一膜两年用处理在玉米播种到拔节期的增温效果显著低于新膜覆盖, 农田 0~25 cm 土壤平均温度较传统覆膜处理低 13.35%, 而对玉米拔节期到成熟期的土壤温度无明显影响, 且农田 0~25 cm 土层土壤积温差异也不显著, 相同覆膜方式下不同灌水水平间有显著差异, 随着灌水水平的降低土壤积温增加; 一膜两年用地膜覆盖方式下玉米籽粒产量和 WUE 与两种新膜覆盖方式相当, 中灌水水平下 WUE 最高, 达到 17.89 kg·mm⁻¹, 且在低灌水水平下获得籽粒产量显著高于传统覆膜处理, 一膜两年用覆盖、灌溉定额 5 700 m³·hm⁻²较传统耕作覆膜、灌水定额 5 700 m³·hm⁻²处理的玉米产量高出 16.39%。说明, 一膜两年用地膜覆盖在玉米播种到拔节期的增温效应低于新膜覆盖, 但并不影响籽粒产量的形成, 且在存在水分胁迫的低灌水水平下一膜两年用覆盖模式可减缓干旱胁迫, 提高作物籽粒产量, 是适于西北绿洲灌区的具有较好经济效益和生态效益的覆膜农田管理新技术。

关键词: 一膜两年用; 少免耕; 灌水水平; 土壤温度; 水分利用效率

中图分类号: S513; S501 **文献标志码:** A

The effect of minimum tillage and mulching on soil temperature and WUE of maize under different irrigation levels

ZHAO Cai, CHEN Gui-ping, CHAI Qiang, YU Ai-zhong, YIN Wen

(Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Science/Faculty of Agronomy
Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A field experiment of maize was conducted to evaluate the effect of different film mulching patterns (one time plastic mulch used for 2 years, no tillage in fall and mulching in spring, traditional mulching) on soil temperature and WUE under different irrigation levels, with the aims of providing a better understanding of optimization of maize cropping system, film mulching re-utilization, and increasing of water use efficiency in oasis irrigation area. The results showed that the treatment of plastic mulching once and used for 2 years increased the soil temperature, but it was significantly lower than the treatment with new film mulching between seeding and jointing stage of maize. The mean temperature of 0~25 cm profile soil in treatment with one time plastic mulch used for 2 years was 13.35% lower than the temperature in traditional mulching treatment. However, no significant effect was found on soil temperature during the maize jointing to maturation stage. And no significant difference on soil accumulated temperature of 0~25 cm profile under different film mulching patterns, but there was significant difference under the different irrigation levels. Compared with the other two mulching patterns, the grain yield and WUE were not significantly different from the treatment with one time plastic mulch used for 2 years, however, the WUE reached 17.89 kg·mm⁻¹ under the medium irrigation level, the grain yield was significantly higher than the traditional film mulching treatment. The production of maize in NTMI1 treatment was 16.39% higher than CTMI1 treatment. We concluded that the treatment with one time plastic mulch used for 2 years

收稿日期: 2016-01-27
基金项目: 国家公益性行业项目(201503125); 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B10)
作者简介: 赵 财(1978—), 男, 甘肃武威人, 博士, 助理研究员, 主要从事多熟种植和节水农业研究。E-mail: zhaoc@gsau.edu.cn。
通信作者: 柴 强(1972—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为多熟种植、循环农业和节水农业。E-mail: chaiq@gsau.edu.cn。

had a lower warming effect than the treatments with new film mulching, but did not affect the forming of seed of maize, it could also decrease the drought pressure and increase the yield potential and be considered as a new advanced technique of maize cropping system for both economic and ecological benefits in northwest oasis irrigation area of China.

Keywords: one time plastic mulch used for 2 years; minimum and no tillage; irrigation level; soil temperature; water use efficiency

地膜覆盖的主要特征效应是提高农田土壤温度,地膜覆盖增温的主要机理是晴天气温较高时吸收太阳辐射使地表升温,而地膜是热的不良导体,有效防止了土壤热量的散失。研究表明地膜覆盖可显著提高棉花、玉米、小麦和马铃薯等作物生育期内的日平均温度,地膜覆盖棉田整个生育期内 5cm 土层平均增温 1.5℃^[1];与传统栽培方式相比,地膜覆盖栽培方式耕层土壤(0~20 cm)日平均温度提高 2.9℃^[2]。同时,地膜覆盖能够提高水分的有效性和利用效率,从而达到增产的效果,一般情况下,可使粮食作物增产 20%~35%,经济作物增产 20%~60%^[3]。地膜的长期大量使用,农田残膜不仅污染土壤、妨碍耕作、破坏耕层土壤结构,而且阻碍作物出苗、根系发育,影响土壤通透性,降低作物产量和品质,对农业生态环境也构成了威胁^[4-5]。因此,生产实践中利用覆盖方式减少休闲期农田水分损失,提高土壤水分和农田贮水量,同时循环利用地膜,减少地膜的使用量是当前中国,尤其是绿洲灌区农业亟待解决的现实问题。

一膜两年用覆盖技术,是旧膜的循环再利用,是地膜覆盖和少免耕覆膜技术的有机结合。一膜两年

覆盖玉米、小麦、向日葵、大豆、糜子、亚麻等作物在产量和经济效益方面的表现已有研究^[6-8],但一膜两年覆盖下土壤温度的系统研究鲜见报道。本文通过对一膜两年用地膜覆盖在不同的灌水水平下的土壤温度的时空变化研究,旨在探索与绿洲灌区间作玉米生理所需积温及水分相吻合,适宜该区的地膜减量化生产体系,为优化地膜覆盖技术提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本研究在甘肃农业大学绿洲农业科研教学基地(103°5'E,37°30'N)进行。试验区位于河西走廊东端的武威市凉州区黄羊镇,属寒温带干旱气候区,海拔 1 506 m,无霜期约 155 d,多年平均降雨量约 156 mm、年蒸发量约 2 400 mm,干燥度 5.85,年平均气温 7.2℃,≥0℃和 ≥10℃的积温分别为 3 513.4℃和 2 985.4℃;日照时数 2 945 h,土地资源广阔,光照资源丰富,日照时数长,昼夜温差大,适于玉米种植。试验期间试验区日均温 17.85℃,有效降雨量 216.6 mm,高于多年平均降雨量(图 1)。

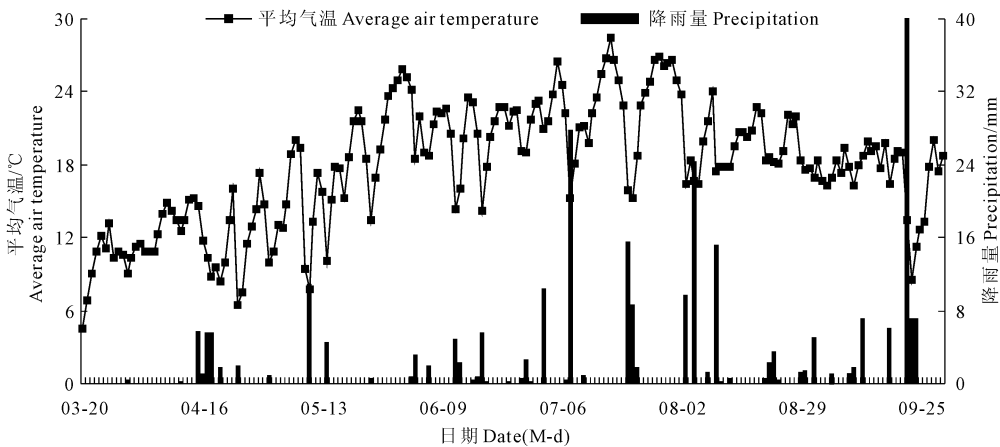


图 1 作物生长期间试验区日均温及降雨量(2014)

Fig.1 Precipitation and air temperature at experiment station

1.2 试验设计

试验设 3 种覆膜耕作方式:传统耕作覆膜(2013 年玉米收获后深翻耕,2014 年播前覆膜);秋免耕春覆膜(2013 年前茬玉米覆膜种植收获后免耕,2014

年玉米播前旋耕覆膜);一膜两年覆盖(2013 年玉米覆膜种植收获后免耕,2014 年直接在原有旧膜上播种玉米)。3 个灌水梯度,灌溉定额 5 700 m³·hm⁻²、6 450 m³·hm⁻²、7 200 m³·hm⁻²;灌溉方式为膜上灌溉。

共 9 个处理,重复三次,田间随机排列。试验处理及代码见表 1,灌溉制度见表 2。

表 1 试验处理及代码

Table 1 Experiment design and treatments codes

覆膜方式 Film-mulching modes	灌水水平/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation Levels		
	5700(I1)	6450(I2)	7200(I3)
传统耕作覆膜 (CTM) Traditional film-mulching	CTMI1	CTMI2	CTMI3
秋免耕春覆膜 (RTM) No tillage in fall and mulching in spring	RTMI1	RTMI2	RTMI3
一膜两年用覆盖 (NTM) One time plastic mulch used for 2 years	NTMI1	NTMI2	NTMI3

施肥制度:不同处理的总施氮水平一致,为 300 kg·hm⁻²,基肥施总氮量的 10%;追肥按照玉米生育时期进行,玉米拔节期(六叶期)第一次追肥为总施

表 2 不同灌溉定额的灌溉制度

Table 2 Irrigation regimes of the different irrigation levels

灌水水平 Irrigation levels	灌溉定额 Irrigation quotas/(m ³ ·hm ⁻²)					总灌溉定额 Total irrigation quotas (m ³ ·hm ⁻²)
	冬储灌 Winter irrigation	拔节期 Jointing	大喇叭口期 Bellmouthed	开花期 Flowering	灌浆期 Filling	
I1	1800	1050	975	975	900	5700
I2	1800	1275	1125	1125	1125	6450
I3	1800	1350	1350	1350	1350	7200

1.4 测定指标及计算方法

1.4.1 土壤温度 在各处理小区玉米带中央安装一套曲管地温计(Wuqiang regong meter plant, Hebei, China)测定 5、10、15、20 cm 和 25 cm 土壤温度。根据玉米的生育时期每隔 15 d 连续测定三天土壤温度,常规测定是每天的 8:00、14:00 和 18:00 测定,三次平均代表当天的土壤温度。

1.4.2 土壤含水量 土壤含水量使用土钻与中子水分仪测定。各处理小区设一个测定点,铝管装于玉米带中央。每 20 d 测定一次,播前、收获后,灌水前、灌水后加测,测定土层深度为 120 cm。测定时,前 30 cm 用土钻人工取土,10 cm 一分层。30~120 cm 用水分中子仪(美国 CPN 公司 503DR)测定。

1.4.3 产量 以小区为单位,单打单收,自然风干后测其总产。

1.4.4 作物耗水量(ET) 耗水量=(播前土壤贮水量-收获后土壤贮水量)+生育期降水量+灌水量(本试验设计的灌水量相对较小,加之试验期间降水稀少,故渗漏量可忽略不计;试验区地下水埋深在 30 m 以下,因此也未考虑地下上升水的影响)。其公式为:

氮量的 20%;第二次大喇叭口期(十叶期)追肥,为总施氮量的 50%;第三次于玉米开花后 10 d 追肥,为总施氮量的 20%。磷肥按照 N:P 为 1:0.75 的比例全部作为基肥施用。

1.3 茬口处理

试验在 2013 年和 2014 年进行,其中 2013 年为预备试验,平作全覆膜大田玉米灌水、施肥等田间管理措施保持一致。按照试验设计,一膜两年覆盖和秋免耕春覆膜处理小区在 2013 年玉米收获后免耕,保持地膜的完整度在 70% 以上;而传统耕作处理为玉米收获后进行残膜回收并深翻耕。2014 年春季,秋免耕春覆膜处理将旧膜揭去后进行旋耕覆膜,传统覆膜处理进行旋耕耙磨后覆膜,而一膜两年用覆盖处理不做任何处理直接在旧膜上播种。

$$ET = P + I + S1 - S2$$
其中, P 为生育期降水量; I 为生育期灌水量; $S1$ 为播种期土壤贮水量; $S2$ 为收获期土壤贮水量。

1.4.5 作物水分利用效率(WUE)

$$WUE = Y/ET$$
其中, Y 为作物籽粒产量, ET 为作物全生育期内总耗水量。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 进行整理汇总,用 SPSS 17.0 进行方差分析、显著性检验(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同灌水水平下少耕地膜覆盖对 0~25 cm 土层土壤温度动态变化的影响

由图 2 可以看出深度 0~25 cm 处平均地温动态变化,不同处理地温呈现出相同的变化规律。在玉米出苗期,地表尚未形成作物覆盖,地温随气温的升高急速提高,6 月 1 日左右达到最高值,0~25 cm 深度各处理的平均温度达最大值到 29.2℃。其后随着作物的生长逐渐对地表形成覆盖,作物的遮阴作用降低了地温,地温逐渐降低,收获前的 9 月 15

日各处理 0~25 cm 的平均温度为 14.5℃。同时,一膜两年用地膜在作物形成覆盖前的保温作用明显低于新膜,NTM 较 RTM 和 CTM 的地温分别低 1.5℃和 1.8℃,但随着植株长大形成覆盖差异逐渐减小。

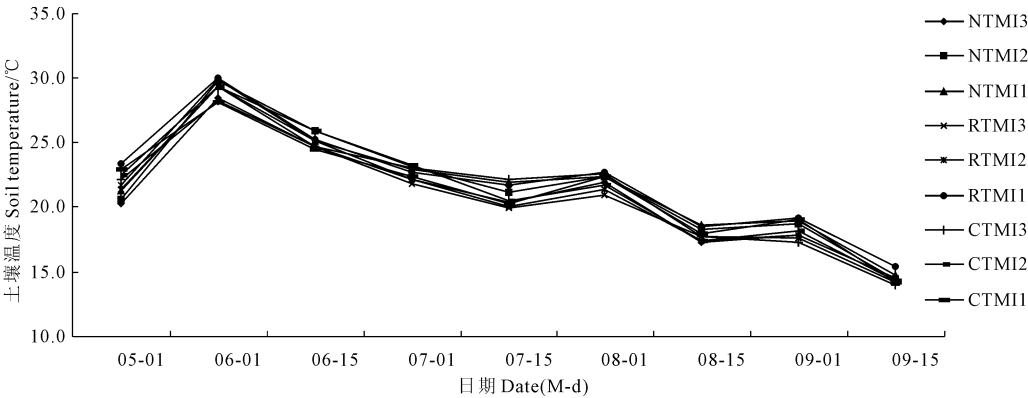


图 2 不同灌水水平下少耕地膜覆盖对 0~25 cm 土层平均地温的影响

Fig.2 The average soil temperature dynamics of monocultured maize at 0~25 cm under different mulching and irrigation conditions

2.2 不同灌水水平下少耕地膜覆盖对不同生育阶段土壤温度的影响

2.2.1 对播种到拔节期土壤温度的影响 如图 3 所示,玉米播种到拔节期农田 0~25 cm 土层平均土壤温度在一膜两年用地膜覆盖方式(NTM)与秋免耕春覆膜方式(RTM)和传统耕作覆膜方式(CTM)间存显著差异,而同一覆膜方式下不同灌水处理间无明显差异。玉米播种到拔节期一膜两年用地膜覆盖农田 0~25 cm 土层平均土壤温度显著低于秋免耕春覆膜和传统耕作覆膜处理,NTM 较 RTM 和 CTM 处理分别低 11.22% 和 13.33%;而土壤温度在秋免耕春覆膜与传统耕作覆膜处理间差别不明显,RTM 较 CTM 处理低 2.38%。说明玉米播种到拔节期(第一次灌水前)土壤温度主要受覆膜方式的影响,且一膜两年用地膜的增温作用显著低于新膜。

方式下 0~25 cm 土壤平均温度无显著差异,RTM 和 CTM 处理较 NTM 处理分别高出 0.25℃ 和 0.29℃。但地膜覆盖和灌水对玉米拔节期到成熟期 0~25 cm 土壤平均温度存在显著影响,且互作效应显著。一膜两年覆盖条件下,高灌水处理(NTMI3)和中等灌水处理(NTMI2)土壤平均温度分别较低灌水处理(NTMI1)低 0.69℃ 和 0.94℃,且差异显著。秋免耕春覆膜条件下,高灌水处理(RTMI3)和中等灌水处理(RTMI2)土壤平均温度分别较低灌水处理(RTMI1)低 0.55℃ 和 0.3℃,且 RTMI3 与 RTMI1 间差异显著。传统耕作覆膜条件下,高灌水处理(CTMI3)和中等灌水处理(CTMI2)土壤平均温度分别较低灌水处理(CTMI1)低 0.39℃ 和 0.38℃,但灌水处理间差异不显著。说明单作玉米从拔节期到成熟期的土壤温度与灌水水平呈负相关关系。

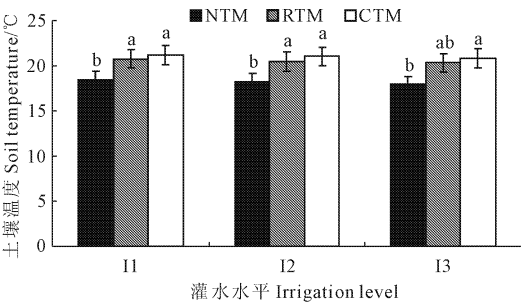


图 3 不同处理下玉米播种到拔节期 0~25 cm 土层土壤平均温度

Fig.3 The average temperature of monocultured maize at 0~25 cm depth between seeding to jointing period under different treatments

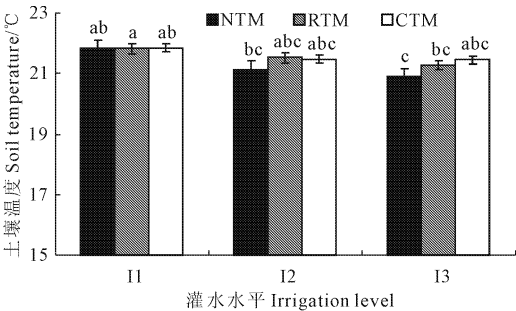


图 4 不同处理下玉米拔节期到成熟期 0~25 cm 土层土壤平均温度

Fig.4 The average temperature of monocultured maize at 0~25 cm depth between jointing to maturation period under different treatments

2.2.2 对玉米拔节期到成熟期土壤温度的影响 不同供水与地膜覆盖条件下玉米拔节期到成熟期 0~25 cm 土壤平均温度如图 4 所示。不同耕作覆膜

不同灌水水平下不同覆膜方式单作玉米全生育

期 0~25 cm 土层土壤积温如图 5 所示,单作玉米全生育期 0~25 cm 土层土壤积温在不同覆膜方式下无显著差异,秋免耕春覆膜处理最高,传统覆膜处理次之,一膜两年用最低,RTM 处理较 CTM 和 NTM 处理分别高出 0.31% 和 1.71%;但相同覆膜方式下 0~25 cm 土层土壤积温在不同灌水水平间存显著差异,表现为随着灌水水平的降低土壤积温增加,低灌溉水平最高,中灌溉水平次之,高灌溉量下最低,其中在一膜两年用地膜覆盖下,NTMI1 较 NTMI2 和 NTMI3 分别高出 3.24% 和 4.46%,NTMI2 较 NTMI3 高出 1.19%。

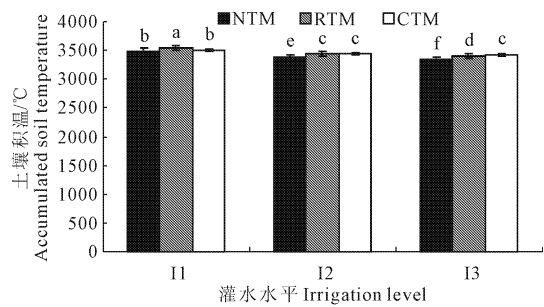


图 5 不同覆膜方式下玉米农田 0~25 cm 土层土壤积温
Fig.5 Accumulated soil temperature at 0~25 cm depth during the whole growth period under different mulching and irrigation conditions

2.4 不同灌水水平下少耕地膜覆盖对玉米产量及水分利用效率的影响

一膜两年用单作玉米产量在高灌水水平下与传统覆膜方式相当,而在中低灌水水平下高于传统覆膜方式(表 3)。一膜两年用覆膜方式下高、中灌水单作玉米产量分别达到了 15 201.49 kg·hm⁻²和 15 031.16 kg·hm⁻²,分别较低灌水水平高出 14.58% 和 13.30%;在同一灌水水平下,NTMI2 处理较 CTMI2 处理的玉米产量高出 2.40%,NTMI1 处理较 CTMI1 处理的玉米产量高出 16.39%;说明一膜两年覆盖与传统覆膜方式一样有利于产量的形成,且在水分亏缺时可缓解干旱胁迫对作物产量形成的影响。

比较不同处理水分利用效率发现,一膜两年用覆膜方式下,高、中灌水处理的 WUE 分别较低灌水处理提高 8.48% 和 11.51%;秋免耕春覆膜方式下高、中灌水处理的 WUE 分别较低灌水处理提高 5.64% 和 18.64%;而传统覆膜方式下高、中灌水处理的 WUE 分别较低灌水处理只提高 2.75% 和 3.28%;此外,在低灌水水平下 WUE 在不同覆膜方式处理间存显著差异,单作玉米的 NTMI1、RTMI1 和

CTMI1 间有明显差异,NTMI1 处理的水分利用效率分别较 RTMI1 和 CTMI1 高出 5.25% 和 20.26%。可见,中灌水水平下作物可充分利用有限的土壤水分,又促进作物形成高产,而在低灌水水平下使用一膜两年用覆盖模式可减缓干旱胁迫,提高作物的水分利用效率。

表 3 不同处理的产量表现和水分利用效率

Table 3 Yield and WUE under different treatments

处理 Treatments	生物产量 Biomass production /(kg·hm ⁻²)	籽粒产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	耗水量 Water consumption /mm	WUE /(kg·mm ⁻¹)
NTMI3	31953.35	15201.49a	858.28a	17.61a
NTMI2	31043.33	15031.16a	823.24ab	17.89a
NTMI1	27758.63	13266.97b	747.57cd	17.75a
RTMI3	31325.62	15215.29a	862.77a	17.64a
RTMI2	30987.26	14750.50ab	820.93ab	17.97a
RTMI1	25146.32	12892.64bc	764.52c	16.86b
CTMI3	31433.21	15220.88a	860.70a	17.68a
CTMI2	30743.85	14679.01ab	817.78ab	17.95a
CTMI1	25543.78	11398.54c	772.34c	14.76c

注:不同字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。
Note: Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level.

3 讨论

地膜覆盖是人为改善作物生长微环境的栽培技术,有明显的增温保墒作用。但大多研究表明,地膜覆盖只在作物生长前期有明显的增温作用,后期减弱。夏自强等^[9]研究表明,地膜覆盖在作物生长前期的低温季节增温作用十分明显,20 cm 以上土层土壤温度较无地膜覆盖高 3℃~5℃,而在作物生长后期的高温季节,由于受作物郁闭作用的影响,地膜覆盖对土壤温度的影响不大。杜社妮等^[10]也研究表明,地膜覆盖在玉米的生育前期有明显的增温效果,5~25 cm 土层土壤日平均温度可对照提高 2.2℃~3.0℃。本研究表明,一膜两年用地膜覆盖在玉米苗期(第一次灌水前)的增温效果显著低于传统地膜覆盖,一膜两年用地膜覆盖单作玉米农田 0~25 cm 土壤平均温度较传统覆膜处理低 13.35%;而覆膜方式对玉米拔节期到成熟期的土壤温度无明显影响,该期土壤温度随供水水平的提高而降低。农田 0~25 cm 土层土壤积温在覆膜方式和不同灌水水平间都存在显著差异,且覆膜方式与种植模式存在显著的互作效应,一膜两年用地膜覆盖间作玉米带积温较单作玉米高出 6.32%。同时,地膜覆盖

增加作物产量提高水分利用效率已被大量研究所证明^[11-12],不同覆膜栽培方式能使玉米水分利用效率提高 19.62%~66.43%^[13],而旧膜二次利用后胡麻较露地播种增收 527 kg·hm⁻²^[14]。本研究中,一膜两年用单作玉米产量在高灌水水平下与传统覆膜方式相当,而在中低灌水水平下高于传统覆膜方式,尤其在低灌水水平下,与传统覆膜方式相比单作玉米水分利用效率提高 20.26%,表明中灌水水平一膜两年覆盖玉米可充分利用有限的土壤水分,又促进作物形成高产,而在低灌水水平下可减缓干旱胁迫,提高作物的水分利用效率;这可能与前茬作物留旧膜,翌年春天除旧膜覆新膜免耕播种,在干旱环境下既有效防止土壤水分散失,避免土壤结构破坏密不可分^[15]。

4 结 论

与传统耕作覆膜和秋免耕春覆膜两种新膜覆盖处理相比,一膜两年用处理在播种到拔节期的增温效果显著低于新膜覆盖,但作物生长后期的增温效应无明显差异;且农田 0~25 cm 土层土壤积温在覆膜方式间差异不显著,但相同覆膜方式下在不同灌水水平间存显著差异,随着灌水水平的降低土壤积温增加。从籽粒产量的表现看,一膜两年用地膜覆盖方式下玉米可获得与两种新膜覆盖方式相当的产量,且在低灌水水平下获得籽粒产量显著高于传统覆膜处理,NTMI1 较 CTMI1 处理的玉米产量高出 16.39%;一膜两年用地膜覆盖玉米水分利用效率与传统覆膜无明显差别,中灌水水平下水分利用效率最高,WUE 达到 17.89 kg·mm⁻¹。说明,一膜两年用地膜覆盖在玉米播种到拔节期的增温效应低于新膜覆盖,但并不影响籽粒产量的形成,且在存在水分胁迫的低灌水水平下一膜两年用覆盖模式可减缓干旱胁迫,提高作物籽粒产量,是适于西北绿洲灌区

的具有较好经济效益和生态效益的覆膜农田管理新技术。

参 考 文 献:

[1] 刘德章,冯利平.地膜覆盖棉田土壤温度的变化动态及其模拟研究[J].棉花学报,1994,6(2):99-102.

[2] 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):216-221.

[3] 严昌荣,何文清,梅旭荣,等.农用地膜的应用与污染防治[M].北京:科学出版社,2010.

[4] 叶永成,白福臣,于 恺.我国农膜技术的发展方向[J].塑料工业,2002,(2):41-44.

[5] 刘金军,王 环.农用地膜的污染及其治理对策研究[J].山东工商学院学报,2009,(6):32-36.

[6] 窦维耀.环县一膜两年用大豆栽培技术[J].甘肃农业科技,2012,(2):46-47.

[7] 吴 兵,高玉红,赵 利,等.农田旧膜再利用方式对旱地胡麻干物质生产及水分利用效率的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1457-1463.

[8] 王小红.全膜覆土穴播一膜两年用冬小麦抗旱增产效果试验[J].甘肃农业科技,2014,(3):19-21.

[9] 夏自强,蒋洪庚,李琼芳,等.地膜覆盖对土壤温度、水分的影响及节水效益[J].河海大学学报,1997,25(2):39-45.

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

[11] 董孔军,杨天育,何继红,等.西北旱作区不同地膜覆盖种植方式对谷子生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):36-40.

[12] 张淑芳.小麦地膜覆盖对土壤水分和温度的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2010.

[13] Ghuman B S, Sur H S. Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate[J]. Soil Till Res, 2001,58(1/2):1-10.

[14] 水建兵.一膜两用胡麻种植节本增效效果试验研究[J].农业科技与信息,2008,(7):5-6.

[15] Kumudini S, Hume D J, Chu G. Genetic improvement in short season soybeans: I. Dry matter accumulation, partitioning, and leaf area duration[J]. Crop Science, 2001,41(3):391-398.