

覆膜时期对全膜双垄沟播玉米籽粒 灌浆特性的影响

高玉红^{1,2}, 吴 兵³, 姜寒玉³, 温小刚², 牛俊义^{1,2}, 冯启宇²

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070;

2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 采用田间试验, 研究了秋季覆膜、春季顶凌覆膜和播前覆膜对全膜双垄沟播玉米土壤温度、籽粒灌浆特性及产量的影响。结果表明: 春季顶凌覆膜处理可显著提高全膜双垄沟播玉米 15 cm 土层温度, 较播前覆膜和秋季覆膜处理分别提高 4.10℃ 和 7.76℃, 差异极显著, 秋季覆膜处理可使 20 cm 和 25 cm 土层温度较春季顶凌覆膜和播前覆膜处理高 4.07℃ ~ 5.35℃ 和 3.15℃ ~ 5.07℃, 差异极显著; 秋季覆膜处理籽粒灌浆速率较春季顶凌覆膜和播前覆膜处理高 45.93% 和 36.28%, 均达极显著水平, 籽粒产量分别高 18.17% 和 7.98%, 均达极显著水平, 百粒重较春季顶凌覆膜处理高 15.28%, 达显著水平。相关性分析表明, 秋季覆膜处理下玉米灌浆期 20 cm 和 25 cm 土层温度与最大灌浆速率呈极显著正相关关系, 与籽粒产量呈正相关关系。研究得出秋季覆膜处理可显著提高全膜双垄沟播玉米 20 cm 土层以下土壤温度, 缩短籽粒最大灌浆速率出现的时间, 加快籽粒的灌浆速率, 提高单位面积的籽粒产量, 是干旱半干旱地区玉米生产获得高产的最佳覆膜时期。

关键词: 玉米; 全膜双垄沟播; 覆膜时期; 灌浆特性; 产量

中图分类号: S513.01 **文献标志码:** A

Effects of film mulching time on grain filling characteristics of maize with film mulched double-furrow sowing

GAO Yu-hong^{1,2}, WU Bing³, JIANG Han-yu³, WEN Xiao-gang², NIU Jun-yi^{1,2}, FENG Qi-yu²

(1. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. College of Life Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The study aims to investigate the effects of film mulching time, autumn, in early spring, and before sowing, on soil temperature, grain filling characteristics and yield with film mulched double-furrow sowing. The results showed that the soil temperature in 15 cm increased significantly under the treatment of mulching in early spring, increased by 4.10℃ and 7.76℃. The soil temperature increased markedly by 4.07℃ ~ 5.35℃ and 3.15℃ ~ 5.07℃ in the 20 cm and 25 cm layers. The 100-grain weight of film mulched in autumn was significantly improved by 15.28% compared with the treatment of film mulched in early spring. Correlation analysis indicated that soil temperature at 20 cm and 25 cm layers were positively correlated with maximum filling rate, and with grain yield at filing stage of maize under the treatment of film mulched in autumn. The results indicated that the treatment of film mulched in autumn may shorten filling time, improve the rate of grain filling and thus increase the grain yield, being the best pattern for maize production in arid and semi-arid areas.

Keywords: maize; film mulched double-furrow sowing; different film mulched time; filling characteristics; yield

收稿日期: 2014-05-20

基金项目: 甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放基金(GSCS-2012-16); 国家自然科学基金项目(30960187, 31460331)

作者简介: 高玉红(1978—)女, 甘肃民勤人, 博士, 副教授, 主要从事作物高产高效栽培理论与技术研究。E-mail: gaoyh@gsau.edu.cn。

通信作者: 牛俊义(1957—), 男, 甘肃会宁人, 教授, 博士生导师, 主要从事作物高产高效栽培及生理生态研究。E-mail: niujy@gsau.edu.cn。

玉米是我国干旱、半干旱地区的主要粮食作物,其经济地位十分重要。甘肃省玉米生产的增产空间较大,但由于年度间或年度内降水分布的极不平衡性,严重制约着全省旱地玉米高产的形成。玉米全膜双垄沟播栽培技术改常规半膜覆盖为全地面覆盖地膜,改常规地膜平铺为起垄覆膜,改常规垄上种植为沟内种植,能够最大限度利用干旱、半干旱区作物生育期有限的降水资源,其增温、保墒作用和增产效果已显见报道^[1-2]。据李兴^[3]等研究报道,覆膜处理与不覆膜处理相比,增温最明显的时期是在玉米出苗至拔节,且该阶段 10 cm 和 20 cm 土层的温差最大,可增温 2.5℃左右,后期增温减慢。玉米籽粒灌浆过程是最终决定籽粒产量形成的关键阶段^[4]。而玉米籽粒的灌浆速率又因外部环境条件的变化而不同^[5]。环境发生变化,玉米籽粒灌浆时间和灌浆速率随之变化,而灌浆持续期的长短和灌浆速率的高低又决定着玉米灌浆期间干物质的积累量^[6],进而影响最终的籽粒产量^[7]。采用全膜双垄沟播栽培技术,在秋季土壤封冻前墒情较好时进行起垄覆膜(秋季覆膜);或在早春昼消夜冻,0~15 cm 土层平均地温为 2.4℃时进行起垄覆膜(顶凌覆膜);或在播种前起垄覆膜(播前覆膜)3 种覆膜栽培技术的抗旱增产效果已在生产中获得了验证^[8-10]。但有关不同覆膜时期对全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆特性等增产机理方面的研究尚未见报道。定西地区属典型的半干旱黄土高原丘陵沟壑雨养农业区^[11],本试验结合该区农业生产的特点,以承单 20 为试验材料,研究了不同覆膜时期对全膜双垄沟播不同生育阶段土壤温度、籽粒灌浆特性及产量性状的影响,旨在为干旱半干旱地区全膜双垄沟播玉米高产栽培技术提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年 11 月至 2012 年 10 月在定西干旱气象与生态环境试验基地进行。该基地位于经度 104.62°,纬度 35.58°,海拔高度 1 897.5 m 的定西市安定区,年均太阳辐射 591.89 kJ·cm⁻²,年均气温

7℃,≥ 0℃ 积温 2 933.5℃,≥ 10℃ 有效积温 2 239.1℃,年日照时数 2 500 h,无霜期 146 d,年平均降雨量 390.9 mm,平均蒸发量 1 531 mm,是降水量的 3.9 倍,属于中温带偏旱区,为典型的雨养农业区^[11]。春玉米为当地的主要作物,一年一熟,前茬作物为马铃薯。

1.2 试验设计

以承单 20 为供试材料,采用全膜双垄沟播种植方式:起大、小双垄,大垄宽 70 cm、垄高 10~15 cm,小垄宽 40 cm、垄高 15~20 cm,在大小垄相接处形成播种沟,采用宽 120 cm 的超薄膜全地面覆盖,株距 35 cm。种植密度为 5.25×10⁴株·hm⁻²。试验设秋季覆膜(2011 年 11 月 16 日覆膜)、春季顶凌覆膜(2012 年 3 月 10 日覆膜)、播前覆膜(2012 年 4 月 10 日覆膜)3 个不同覆膜时期处理,每处理 3 次重复,小区面积 30.8 m²(4.4 m×7 m),小区间走道 40 cm,重复间走道 60 cm。供试土壤为黑垆土:有机质 10.65 g·kg⁻¹,全氮 0.79 g·kg⁻¹,碱解氮 81.63 mg·kg⁻¹,速效磷 7.03 mg·kg⁻¹,速效钾 268.35 mg·kg⁻¹,pH 值 7.8。施尿素 391.5 kg·hm⁻²(N 46%),普通过磷酸钙 1 500 kg·hm⁻²(P₂O₅ 12%)。其中尿素 60%作基肥施入,40%分别在拔节期和灌浆期按 1:1 比例追施;普通过磷酸钙全部作基肥施入。其他栽培管理措施均同一般大田,试验于 2012 年 4 月 16 日播种,10 月 20 日全区收获。试验区玉米生育期降雨量分布情况见表 1。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 地温观测 用曲管地温表在玉米灌浆期选择晴天,连续 3 d 分别测定不同处理下 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00 各时间点 5、10、15、20、25 cm 土层温度。

1.3.2 籽粒灌浆特性 在玉米抽雄吐丝期,各小区选择生长健壮、整齐、吐丝期一致、有代表性的 50 株挂牌标记。自吐丝第 5 天开始,选择有代表性的植株,每隔 5 d 取样 1 次,最后一次取样在吐丝后 50 d。取样时每小区选 3 株的果穗,剥取穗部中间 100 粒,将籽粒于 105℃烘箱中杀青,80℃恒温下烘至恒重,测定玉米灌浆期百粒干物质量。

表 1 2012 年试验区降雨量分布情况/mm
Table 1 Annual rainfall of the experimental site in 2012

项目 Item	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	生育期 Whole growth stage
降雨量 Rainfall	0.50	40.80	51.12	63.20	150.10	56.70	10.12	372.54

1.3.3 产量及产量性状 成熟期进行考种,包括穗长、穗粗、秃顶长、穗行数、行粒数、百粒重,并按小区测产。

1.4 数据处理

数据处理采用 EXCEL 和 SPASS 进行分析,以吐丝后天数(t)为自变量,单粒质量(Y)为因变量,用 Logistic 模型 $Y = a/[1 + e(b - kt)]$ 进行数据模拟。其中, t 为灌浆开始后持续的天数, Y 为 t 时刻的单粒籽粒干物质积累量(g), a 为希望最大百粒质量, b 、 k 为系数。利用 Y 对 t 求一阶导数,可得出玉米的灌浆速率方程式为 $V(t) = ake(b - kt)/[1 + e(b - kt)]^2$ 。由此推导出次级灌浆参数:平均灌浆速率 $R(g \cdot 粒^{-1} \cdot d^{-1})$ 、达最大灌浆速率的时间 T_{max} 、最大灌浆速率 $R_{max}(g \cdot 100 粒^{-1} \cdot d^{-1})^{[12]}$ 。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜时期对全膜双垄沟播玉米灌浆期地温的影响

2.1.1 不同覆膜时期对全膜双垄沟播玉米灌浆期平均地温的影响 不同土层温度是表征土壤热量和

水分状况的关键指标。通过地膜覆盖技术改变土壤特征从而影响土壤温度变化,使之成为玉米的生长和发育提供良好的环境。本试验在灌浆期分别测定分析了秋季覆膜、春季顶凌覆膜和播前覆膜处理下土壤温度的纵向变异梯度(表 2)。结果表明:不同覆膜时期对全膜双垄沟播玉米灌浆期 10 cm 以上土层温度影响不显著,而对 15 ~ 20 cm 土层土壤温度的影响较大,各处理间差异极显著。其中,在 15 cm 土层,春季顶凌覆膜处理增温明显,较播前覆膜和秋季覆膜处理分别平均高 4.10℃ 和 7.76℃,差异极显著,播前覆膜处理较秋季覆膜处理高 3.66℃;在 20 cm 土层,秋季覆膜处理增温明显,较春季顶凌覆膜和播前覆膜处理分别平均高 4.07℃ 和 3.15℃,差异极显著,在 25 cm 土层,秋季覆膜处理增温明显,较春季顶凌覆膜和播前覆膜处理分别平均高 5.35℃ 和 5.07℃,差异极显著,春季顶凌覆膜和播前覆膜处理间无显著差异。说明秋季覆膜处理可显著提高全膜双垄沟播玉米 20 cm 土层以下的土壤温度,有利于改善玉米根系的生长环境,促进根系向深层生长,为玉米高产奠定良好的基础。

表 2 不同覆膜时期对全膜双垄沟播玉米灌浆期土层剖面日均温的影响/℃
Table 2 Effect of mulching time on daily mean temperatures of different soil layers during filling stage of maize

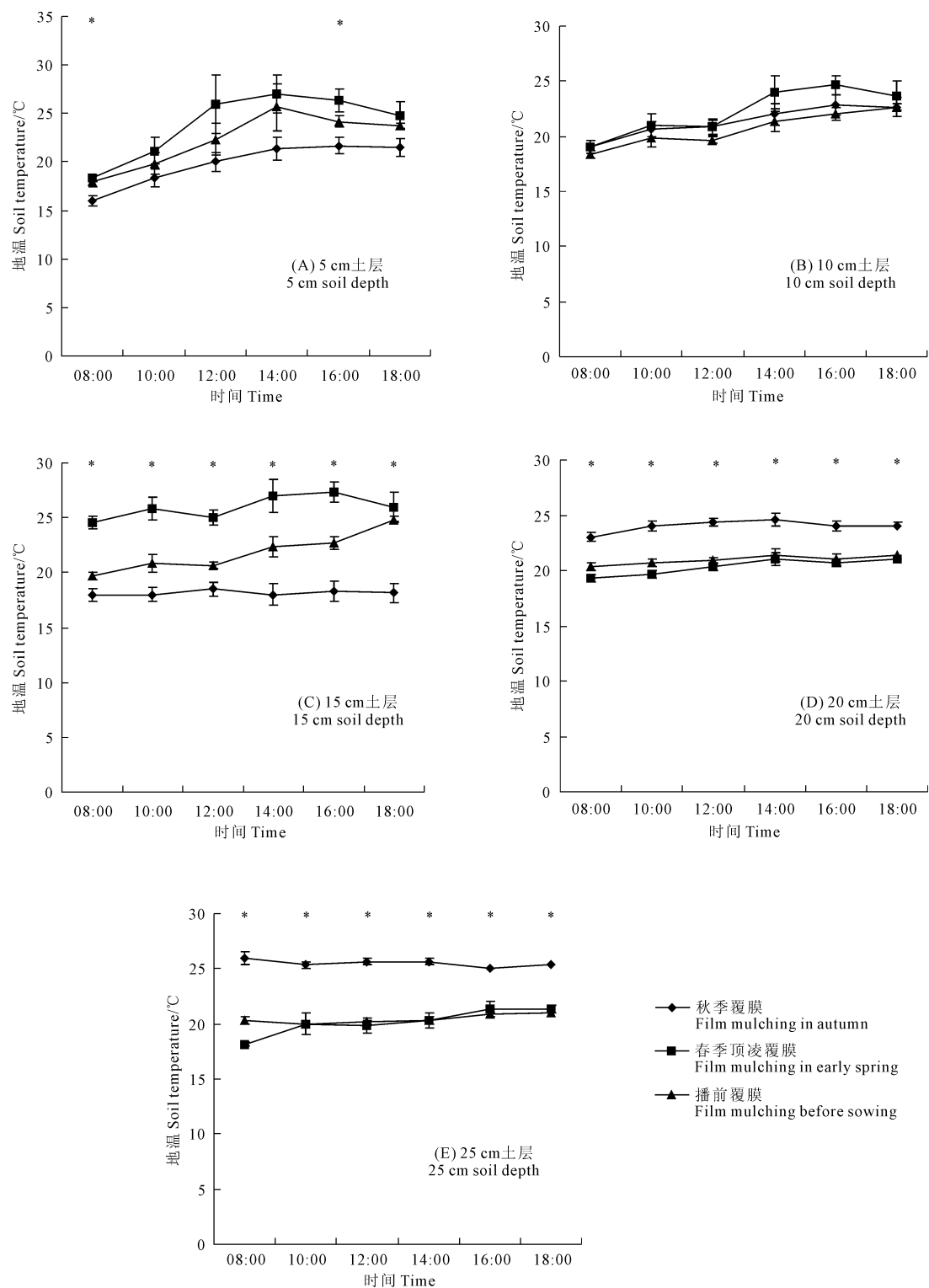
处理 Treatments	土层深度 Soil depths/cm				
	5	10	15	20	25
秋季覆膜 Film mulching in autumn	19.80bA	21.33a	18.17cC	24.00aA	25.50aA
春季顶凌覆膜 Film mulching in early spring	23.93aA	22.20a	25.93aA	19.93cC	20.15bB
播前覆膜 Film mulching before sowing	22.01abA	20.63a	21.83bB	20.85bB	20.43bB

注:不同大、小写字母分别表示处理间差异达 1% 和 5% 显著水平,下同。
Note: Data in the same column with different lowercase letters meant significant difference at 0.05 level, while capital letters at 0.01 level. The same below.

2.1.2 不同覆膜时期对全膜双垄沟播玉米灌浆期不同土层温度日变化的影响 由图 1 可以看出,在不同覆膜时期处理下,全膜双垄沟播玉米灌浆期 5 ~ 10 cm 土层温度从早晨 8:00 至下午 18:00 呈先升后降的变化趋势,拐点在 14:00 或 16:00。从不同土层来看,5 cm 土层温度变化明显(图 1 - A),春季顶凌覆膜处理在 8:00 和 16:00 显著高于播前覆膜和秋季覆膜处理;各处理在 10 cm 土层温度差异不显著(图 1 - B),在 15 cm 以下土层温度差异均达显著水平(图 1 - C、D、E),其中,各处理在 15 ~ 25 cm 土层温度日变化幅度不大,但各时间点处理间差异均达显著水平。秋季覆膜处理能够显著增加全膜双垄沟播玉米 20 cm 以下土层地温,改善土壤环境,有利于促进根系生长,为全膜双垄沟播玉米的灌浆和高产奠定了良好的基础。

2.2 不同覆膜时期全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆过程模型描述

从图 2 可看出,不同覆膜时期处理下全膜双垄沟播玉米灌浆期百粒干物质积累过程随时间的变化均呈“慢 - 快 - 慢”的“S”型曲线变化趋势。其中,秋季覆膜和播前覆膜处理玉米吐丝后第 5、10、15、20、25 天玉米百粒干物质量的变化趋势基本相似,呈缓慢增加的趋势。其中,吐丝后第 20 天时,秋季覆膜处理百粒干物质量最大,较春季顶凌覆膜处理显著高 41.33%。吐丝后第 25 天前后各处理百粒干物质量急剧增加,吐丝后第 25 天时,秋季覆膜处理百粒干物质量较春季顶凌覆膜处理高 80.86%,播前覆膜处理较春季顶凌覆膜处理高 63.12%。吐丝后第 30 天时,秋季覆膜处理百粒干物质量较春季顶凌覆膜处理高 56.08%,播前覆膜处理较春季顶凌覆膜处理高 52.50%。吐丝后第 35 天时,秋季覆膜处理



注: * 表示处理间差异达 5% 显著水平,下同。 Note: * significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 覆膜时期对全膜双垄沟播玉米灌浆期不同土层温度日变化的影响

Fig.1 Effects of different mulching time on daily temperatures of different soil layers during filling stage of maize with film mulched double-furrow sowing

百粒干物质质量较春季顶凌覆膜处理高 12.56%, 差异极显著, 播前覆膜处理较春季顶凌覆膜处理高 8.48%, 差异显著。吐丝后第 40 天时, 秋季覆膜和播前覆膜处理百粒干物质质量分别较顶凌覆膜处理高

23.44% 和 12.02%, 差异显著。吐丝后第 45 天时, 秋季覆膜和播前覆膜处理百粒干物质质量分别较春季顶凌覆膜处理高 23.80% 和 17.51%, 差异极显著, 秋季覆膜处理显著高于播前覆膜处理。吐丝后第

50 天时,秋季覆膜处理百粒干物质质量显著高于春季顶凌覆膜和播前覆膜处理。说明秋季覆膜处理可显著提高全膜双垄沟播玉米吐丝 20 d 以后籽粒百粒干物质积累量,为高产奠定良好的基础。

2.3 模型拟合过程分析

2.3.1 不同覆膜时期处理对全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆进程的影响 由表 3 可见,全膜双垄沟播栽培技术下,不同覆膜时期对旱地玉米的籽粒达最大灌浆速率持续的时间和籽粒最大灌浆速率的高低具有不同程度的影响。其中,春季顶凌覆膜处理全膜双垄沟播玉米籽粒达最大灌浆速率持续的时间最长,达 34 d,较持续时间最短的秋季覆膜处理长 10 d,差异显著,较播前覆膜处理长 1 d;籽粒最大灌浆速率为秋季覆膜处理最高,较春季顶凌覆膜处理高 45.93%,差异极显著,较播前覆膜处理高 36.28%,

差异显著。说明全膜双垄沟播栽培技术下,并非玉米籽粒达到最大灌浆速率所持续的时间越长,其最大灌浆速率就越高。

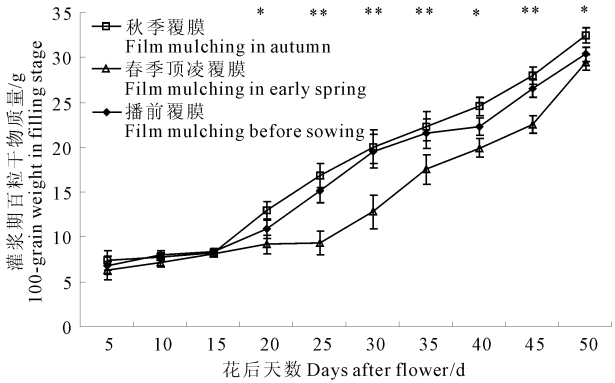


图 2 不同覆膜时期玉米灌浆期百粒干物质质量的变化

Fig.2 Changes of 100-grain weight at filling stage of maize under different film mulched periods

表 3 不同覆膜时期全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆过程的拟合方程

处理 Treatments	单粒质量方程 Quality equation of single grain	灌浆速率方程 Filling rate equation	达最大灌浆 速率时间 $T_{\max}/\text{d}$	最大灌浆速率 $R_{\max}$ $/(g \cdot 100 \text{ 粒}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$
秋季覆膜 Film mulching in autumnn	$Y = 0.3562 / (1 + 1.5664e^{-0.0188t})$	$V = 0.0105e^{-0.0188t} / (1 + 1.5664e^{-0.0188t})^2$	24b	1.6862aA
春季顶凌覆膜 Film mulching in early spring	$Y = 0.3146 / (1 + 1.6195e^{-0.0136t})$	$V = 0.0070e^{-0.0136t} / (1 + 1.6195e^{-0.0136t})^2$	34a	1.1555bB
播前覆膜 Film mulching before sowing	$Y = 0.3438 / (1 + 1.5473e^{-0.0155t})$	$V = 0.0082e^{-0.0155t} / (1 + 1.5473e^{-0.0155t})^2$	33a	1.2373bAB

2.3.2 覆膜时期对全膜双垄沟播玉米产量及产量构成因素的影响 从表 4 可见,不同覆膜时期处理下,全膜双垄沟播玉米的秃尖、穗长、穗粗、行粒数、穗行数差异均不显著,成熟期百粒重和籽粒产量各处理间存在一定的差异。秋季覆膜处理下玉米百粒重最高(39.53 g),较春季顶凌覆膜处理高 15.28%,较播前覆膜处理高 4.36%,播前覆膜处理百粒重较春季顶凌覆膜处理高 10.47%,差异不显著。籽粒产量为秋季覆膜处理最高,较春季顶凌覆膜处理高 18.17%,差异极显著,较播前覆膜处理高 7.98%,差

异显著,春季顶凌覆膜处理的产量较播前覆膜处理高出 9.43%,差异显著。说明穗长、穗粗、秃尖长、穗行数和行粒数不是全膜双垄沟播玉米获得高产的限制因素,维持百粒重的平衡才是获得高产的前提,秋季覆膜处理可显著提高全膜双垄沟播玉米单位面积的籽粒产量,是获得旱地玉米高产的最佳覆膜时期。

2.4 灌浆期不同土层温度与籽粒灌浆特性及产量之间的相关性分析

玉米灌浆期不同土层土壤温度与灌浆特性及成熟期百粒重之间的关系见表 5。其中,灌浆期 5 cm

表 4 不同覆膜时期全膜双垄沟播玉米穗部性状及籽粒产量

Table 4 Ear traits and yield of maize with film mulched double-furrow sowing under different film mulching times

处理 Treatments	穗长 Ear length /cm	穗粗 Ear diameter /cm	秃顶长 Barren ear tip /cm	穗行数 Ear rows	行粒数 Row grains	百粒重 100-grain weight/g	籽粒产量 Grain yield $/(kg \cdot hm^{-2})$
秋季覆膜 Film mulching in fall	18.30a	5.33a	0.93a	16.00a	36.53a	39.53aA	1345.36aA
春季顶凌覆膜 Film mulching in early spring	17.97a	5.17a	0.70a	15.80a	37.13a	34.29bA	1138.53cB
播前覆膜 Film mulching before sowing	19.83a	5.52a	0.67a	17.33a	38.00a	37.88abA	1245.89bAB

土层温度与达最大灌浆速率时间和玉米成熟期百粒重之间呈正相关关系,与最大灌浆速率和籽粒产量之间呈负相关关系;灌浆期 10 cm 土层温度与达最大灌浆速率时间、玉米成熟期百粒重、籽粒产量之间呈正相关关系;灌浆期 15 cm 土层温度除与达最大灌浆速率时间呈正相关关系外,与其他指标均呈负相关关系;20 cm 和 25 cm 土层温度均与最大灌浆速

率呈极显著正相关关系。百粒重与各指标呈正相关关系;达最大灌浆速率时间与最大灌浆速率和籽粒产量间呈正相关关系;最大灌浆速率与籽粒产量呈正相关关系。说明提高 20~25 cm 土层温度可显著提高旱地全膜双垄沟播玉米最大灌浆速率,增加玉米百粒重和籽粒产量。

表 5 灌浆期不同土层温度与籽粒灌浆特性及产量之间的相关性分析

Table 5 Relevance analysis between temperatures of different soil depths at filling stage with filling characteristics and yield					
指标 Parameters		百粒重 100-grain weight /g	达最大灌浆 速率时间 $T_{\max}/\text{d}$	最大灌浆速率 $R_{\max}$ $/(\text{g}\cdot 100 \text{ 粒}^{-1}\cdot \text{d}^{-1})$	籽粒产量 Grain yield $/(\text{kg}\cdot \text{hm}^{-2})$
土层温度/℃ The temperature of soil depths	5 cm	0.335	0.594	- 0.555	- 0.126
	10 cm	0.556	0.090	- 0.027	0.530
	15 cm	- 0.066	0.588	- 0.766	- 0.189
	20 cm	0.182	- 0.600	0.859 [*] *	0.418
	25 cm	0.159	- 0.660	0.882 [*] *	0.564
百粒重 100-grain weight/g		1	0.141	0.166	0.122
达最大灌浆速率时间 $T_{\max}/\text{d}$			1	0.747	0.421
最大灌浆速率 $R_{\max}/(\text{g}\cdot 100 \text{ 粒}^{-1}\cdot \text{d}^{-1})$				1	0.380
籽粒产量 Grain yield/ $(\text{kg}\cdot \text{hm}^{-2})$					1

注: * 表示 5%显著水平, ** 表示 1%显著水平。
Note: * mean significant correlation at 0.05 level, ** mean significant correlation at 0.01 level.

3 小结与讨论

地膜覆盖栽培技术能够增加土壤温度,保持土壤水分,改善土壤热量平衡^[13]。王敏等^[14]研究表明,在黄土高原旱作区,地膜覆盖使玉米生育前期 0~25 cm 土层的日平均温度比露地提高 2.2 $^{\circ}\text{C}$ ~3.0 $^{\circ}\text{C}$ 。杨祁峰等^[15]得出,全膜双垄沟播玉米各生育时期不同土层深度的地温和有效积温表现为秋季覆膜>春季顶凌覆膜>播前覆膜。本研究表明,不同覆膜时期对全膜双垄沟播玉米灌浆期 10 cm 以上土层温度影响不显著,在 20 cm 和 25 cm 土层,秋季覆膜处理增温明显,较春季顶凌覆膜处理分别高 4.07 $^{\circ}\text{C}$ 和 5.35 $^{\circ}\text{C}$,差异极显著,较播前覆膜处理分别高 3.15 $^{\circ}\text{C}$ 和 5.07 $^{\circ}\text{C}$,差异显著。徐福利等^[16]提出,起垄覆膜能显著增加土壤温度,保持土壤水分,还能促进作物生长发育,提高产量。而温度对玉米产量的影响主要集中在灌浆成熟期^[17]。玉米灌浆速率的高低以及灌浆持续期的长短决定最终籽粒产量,而灌浆速率的高低不仅受基因的控制,同时还受生产环境条件和栽培技术如生态、播期、施肥水平、耕作方式等的影响^[18]。张雯等^[19]研究认为,保护性耕作方式下玉米籽粒灌浆速率的优势表现在授粉 15 天以后。张文斌^[12]等研究了种植密度对全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆进程及产量的影响,认为种

植密度对全膜双垄沟播玉米单粒干物质的影响主要是灌浆速率所致,而灌浆持续期对其影响较小。本研究表明,春季顶凌覆膜处理玉米籽粒灌浆持续的时间(34 d)较秋季覆膜处理长 10 d。全膜双垄沟播栽培技术下秋季覆膜处理玉米籽粒最大灌浆速率较春季顶凌覆膜处理高 45.93%,差异极显著,较播前覆膜处理高 36.28%,差异显著。秋季覆膜处理下玉米百粒重和籽粒产量分别较春季顶凌覆膜处理高 15.28% ($P<0.05$) 和 18.17% ($P<0.01$),较播前覆膜处理分别高 4.36% 和 7.98% ($P<0.05$),这与张军钱、信东旭等^[20-21]的研究结果基本一致。秋季覆膜处理之所以能够提高旱地玉米产量,原因可能是由于秋季覆膜处理能够有效提高土壤温度^[15],进而影响灌浆特性。相关性分析也表明,玉米灌浆期达最大灌浆速率时间、成熟期百粒重和籽粒产量与该期 20 cm 和 25 cm 土层温度呈正相关或极显著正相关关系。说明秋季覆膜处理可显著提高玉米灌浆期 20~25 cm 土层的土壤温度,有效缩短籽粒达到最大灌浆速率所持续的时间,加快籽粒灌浆速率,增加玉米百粒重,提高单位面积的籽粒产量,为进一步改进全膜双垄沟播玉米栽培技术提供一定的理论依据,进一步为干旱半干旱区农民增产增收提供技术支持。

(下转第 40 页)

生长发育,只有系统地考虑耕作措施对作物生长发育的影响因素,制定有效的解决方案,才能解决实际问题。

本文利用 Surfer 软件对产量变化率进行分析,直观地反映了不同耕作措施下春小麦产量的变化趋势及稳定性,在应对温度变化,充分利用气候资源、合理利用耕作措施等方面有一定的应用前景。通过分析,传统耕作 + 秸秆还田和免耕覆盖两种耕作措施相比传统的耕作方式,具有更强的应对极端风险气候的能力。这与王晓娟^[15]等研究认为秸秆还田和免耕覆盖保护性耕作措施下小麦产量稳定且较高的结论是一致的。

参 考 文 献:

[1] 李 艳,王式功,马玉霞.全球气候变暖对我国小麦的影响研究综述[J].环境研究与监测,2006,19(2):11-13,33.
[2] 刘德祥,董安详,邓振毓.中国西北地区气候变暖对农业的影响[J].自然资源学报,2005,20(1):119-125.
[3] 崔 静,王秀清,辛 贤.气候变化对中国粮食生产的影响研究[J].经济社会体制比较,2011,154(2):54-60.
[4] Wolf J, van Oijen M, Kempenaar C. Analysis of the experimental variability in wheat responses to elevated CO₂ and temperature[J]. Agricultural, Ecosystems and Environment, 2002,93:227-247.
[5] 蒲金涌,姚小英,王位泰.气候变化对甘肃冬小麦气候适宜性的

影响[J].地理研究,2011,30(1):153-160.

[6] 郭建平,高素华.高温、高 CO₂ 对农作物影响的试验研究[J].中国生态农业学报,2002,10(1):17-20.
[7] 郝敬虹,李天来,孟思达,等.夜间低温对薄皮甜瓜果实糖积累代谢相关酶活性的影响[J].中国农业科学,2009,24(10):3592-3599.
[8] Norby R J, Edwards N T, Riggs J S, et al. Temperature controlled open-top chambers for global change research[J]. Global Change Biology,1997,3:259-267.
[9] Klein J A, Harte J, Zhao X Q. Dynamic and complex micro-climate responses to warming and grazing manipulations[J]. Global Change Biology, 2005,11:1440-1451.
[10] 李 广,李 玥,黄高宝,等.不同耕作措施旱地小麦生产应对气候变化的效应分析[J].草业学报,2012,21(5):160-168.
[11] 周 静,张仁陟.不同耕作措施下春小麦应对干旱胁迫的生理影响[J].干旱区研究,2010,27(1):39-43.
[12] 遂焕成.秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量状况的影响[J].土壤通报,1999,30(4):174-175.
[13] 谢瑞芝,李少昆,李小君,等.中国保护性耕作研究分析——保护性耕作与作物生产[J].中国农业科学,2007,40(9):1914-1924.
[14] 谢瑞芝,李少昆,金亚征,等.中国保护性耕作试验研究的产量效应分析[J].中国农业科学,2008,41(2):397-404.
[15] 王晓娟,黄高宝,李卿沛,等.不同耕作措施下旱地春小麦田和豌豆田的蒸发蒸腾特性及产量效应[J].干旱区资源与环境,2010,24(5):172-177.

(上接第 35 页)

参 考 文 献:

[1] 程炳文,王 勇,罗世武,等.地膜玉米不同处理土壤水分和温度变化规律对产量的影响[J].玉米科学,2006,14(1):144-145.
[2] 王顺霞,王占军,左 忠,等.不同覆盖方式对旱地玉米田土壤环境及玉米产量的影响[J].干旱区资源与环境,2004,18(9):134-137.
[3] 李 兴,程满金,勾芒芒,等.黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J].生态环境学报,2010,19(1):218-222.
[4] Otegui M E, Bonhomme R. Grain yield components in maize *Yñ*. Ear growth and kernel set[J]. Field Crops Res, 1998,56:247-256.
[5] 金 益,张永林,王振华,等.玉米灌浆后期的百粒重变化的品种间差异分析[J].东北农业大学学报,1998,29(1):7-12.
[6] 李绍长,盛 茜,陆嘉惠,等.玉米籽粒灌浆生长分析[J].石河子大学学报,1999,3:1-5.
[7] 刘宗华,张战辉.玉米籽粒灌浆速率研究进展[J].东北农业大学学报,2010,41(11):148-153.
[8] 孙学保,杨祁峰,牛俊义,等.旱地全膜双垄沟播玉米增产效应研究[J].作物杂志,2009,3:32-36.
[9] 张军钱.旱地全膜双垄沟播玉米适宜覆膜时间研究[J].水土保持通报,2009,29(4):220-223.
[10] 李国华.全膜双垄沟播玉米不同覆膜时期水分生产效率研究[J].中国农学通报,2009,25(18):205-207.

[11] 高世铭.陇中黄土丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
[12] 张文斌,杨祁峰,牛俊义,等.种植密度对全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆及产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2010,45(2):74-78.
[13] 胡 芬,陈尚漠.旱地玉米农田地膜覆盖的水分调控效应研究[J].中国农业气象,2000,21(4):14-17.
[14] 王 敏,王海霞,韩清芳,等.不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J].作物学报,2011,37(7):1249-1258.
[15] 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.
[16] 徐福利,梁银丽,汪有科,等.秸秆覆盖保护耕作法土壤水分和温度变化及玉米产量效应[J].土壤通报,2006,37(4):648-650.
[17] 鲍继友,孙顶太,孙月轩,等.夏玉米灌浆与温度、籽粒含水率的关系[J].耕作与栽培,1994,5:22-26.
[18] 刘宗华,张战辉.玉米籽粒灌浆速率研究进展[J].东北农业大学学报,2010,41(11):148-153.
[19] 张 雯,衣 莹,侯立白.辽西地区垄作保护性耕作方式对玉米产量效应的影响研究[J].玉米科学,2007,15(5):96-99,103.
[20] 张军钱.旱地全膜双垄沟播玉米适宜覆膜时间研究[J].水土保持通报,2009,29(4):220-223.
[21] 信东旭,张玉龙,黄 毅,等.不同时期覆膜对辽西旱地农田土壤墒情及春玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):114-118.