

垄沟覆盖种植对晚播夏玉米 生长和产量的补偿效应

杨志超,李援农,谷晓博,陈祎彤,赵 晓

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘要:针对晚播对夏玉米生长发育造成的不利影响,采用垄覆膜沟不覆盖(LN)、垄覆膜沟覆秸秆(LJ)和垄沟全覆膜(LM)3种垄沟种植方式,以常规播期平作不覆盖(CK1)和晚播平作不覆盖(CK2)为对照,分析了不同垄沟种植方式对晚播夏玉米农田土壤水分、土壤温度及玉米生长和产量的影响,对比不同垄沟覆盖种植方式对晚播玉米生长的补偿效应。结果表明:垄沟种植显著提升了夏玉米0~25 cm 土层土壤温度,促进了晚播夏玉米生长;生育期内多雨导致各处理0~200 cm 土层土壤含水率一直在18%(75%田间持水率)或更高水平,覆膜对土壤水分的影响不明显;垄沟种植夏玉米整体生长状态在8月中下旬(抽雄~灌浆阶段)与CK1处理达到相同水平;地上部干物质质量在成熟期达到或超过CK1处理水平;低温多雨导致晚播夏玉米生育期延长了8~9 d;垄沟种植处理倒伏率较低,最高值仅为3%,平作处理倒伏严重,CK1和CK2处理倒伏率分别达73.1%和20.1%;CK2处理全生育期各项生长及产量指标均较低,LJ处理前期生长状态差,后期贪长,最终相对CK1处理减产7.9%;LN处理产量9 783.8 kg·hm⁻²,与CK1处理持平,LM处理达到最高产量11 101.7 kg·hm⁻²,相对CK1处理增产12.2%。综合考虑土壤水热、夏玉米生长、产量等各方面因素,多雨条件下垄沟全覆膜方式对晚播玉米生长达到了最好的补偿效果。

关键词:夏玉米;播期;垄沟覆膜;土壤水热;生长;产量

中图分类号:S513 **文献标志码:**A

Compensation effects of ridge and furrow mulching on growth and yield of late-sown summer maize

YANG Zhichao, LI Yuannong, GU Xiaobo, CHEN Yitong, ZHAO Xiao

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of
Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To solve the adverse effects of late sowing on the growth and development of summer maize, three planting methods including ridge with plastic film mulching and furrow without mulching (LN), ridge with plastic film mulching and furrow with straw mulching (LJ), ridge and furrow with plastic film mulching (LM) were adopted. The conventional sowing period flat planting without mulching (CK1) and late flat planting without mulching (CK2) were used as controls. The effects of different ridge and furrow planting methods on field soil moisture, soil temperature, growth and yield of late-sown summer maize were analysed, and the compensation effects of different methods were compared. The results showed that the ridge and furrow planting pattern significantly increased the soil temperature in the 0~25 cm soil layer of summer maize and promoted the growth of late-sowing summer maize. During the growth period, the moisture content of 0~200 cm soil layer was maintained at 18% (75% of field capacity) or higher in each treatment, thus the influence of film mulching on soil moisture was not obvious. The overall growth status of summer maize planted in ridge and furrow planting pattern caught up with the CK1 treatment in mid-to-late August (tasselling to filling stage). The above-ground dry matter reached or exceeded the CK1 treatment at the maturity stage. Low temperature and heavy rainfall resulted in the extended growth period of late-so-

收稿日期:2021-09-26

修回日期:2021-12-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51979235);陕西省农业科技创新转化项目(NYKJ-2019-YL)

作者简介:杨志超(1997-),男,山东日照人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉新技术。E-mail: xnczy7@126.com

通信作者:李援农(1962-),男,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉技术及3S技术应用研究。E-mail: liyuannong@163.com

wing summer maize by 8~9 days. The lodging rate of ridge and furrow planting was low, and the highest value was only 3%. The lodging rate of CK1 and CK2 treatment was 73.1% and 20.1%, respectively. All growth and yield indicators of CK2 treatment were low throughout the growth period. LJ treatment had poor growth status in the early stage and greedy growth in the later stage, and ultimately reduced production by 7.9% compared with CK1 treatment. The yield of LN treatment was 9 783.8 kg · hm⁻², which was the same as that of CK1 treatment. The highest yield of LM treatment reached 11 101.7 kg · hm⁻², which was an increase of 12.2% compared with CK1 treatment. Considering soil moisture and heat, growth and yield of summer maize, the ridge mulching and furrow mulching method achieved the best compensation effect under rainy conditions.

Keywords: summer maize; sowing date; ridge and furrow mulching; soil moisture and heat; growth; yield

玉米作为我国第一大粮食及加工作物,在我国粮食结构中占据重要地位,具有巨大的增产潜力和消费需求增长空间^[1]。关中平原为典型的半干旱区,冬小麦-夏玉米轮作种植为该地区主要的栽培方式^[2]。播期调整会影响作物生长期水分、光照、温度等气象因子,从而改变作物生长发育进程及状况^[3]。目前除对播期单因素的研究外,围绕玉米播期的研究主要有:一是与密度^[4-5]、品种^[6-8]等因素进行结合,主要通过试验方式确定最优种植组合模式;二是结合气象因子,通过开展试验^[9]或结合模型^[10-11]等方法探究玉米种植的最适播期。但播种受到天气、土壤、人力和机械等因素的制约,现实条件下难以保证作物在最适播期播种,晚播现象时有发生。研究表明,玉米应适时早播,晚播会使玉米生育期缩短,加快生长发育进程,降低产量^[12-14]。因此,为保证玉米产量,需探究相关的“补偿”措施来弥补晚播对其产生的不利影响。

垄沟集雨覆膜种植技术是通过在田间开沟起垄,在垄面上覆膜,可以使降落在垄面上的雨水汇集到沟内,从而集中降水到植株根系所在的土层,改善作物的水分供给状况,实现雨水资源的高效利用^[15-17]。同时,起垄增大了地表粗糙度,使土壤能接受更多太阳辐射,地膜和其他覆盖物也能改变土壤与大气之间的气体交换作用,从而提升土壤温度^[18-19]。研究表明,凭借其保水保墒、调节土壤温度和减少氮素淋溶等多种优势,垄沟种植模式能促进作物生长,同时也会提高作物对养分的吸收和利用^[20-21]。

目前,运用垄沟种植模式对晚播夏玉米进行补偿的研究较少。本文将3种不同的垄沟种植覆盖模式应用于晚播夏玉米,研究不同模式对晚播夏玉米土壤水热、生长发育、倒伏情况和籽粒产量的影响,通过与常规播期平作种植夏玉米各项指标进行对比评价,探寻能最大程度上弥补晚播造成的负面影响的夏玉米种植方式,以期在半干旱区夏玉米抵御

灾害和高效生产提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2020年6—10月在陕西省杨凌农业高新技术示范区西北农林科技大学农作一站试验基地(108°05'E, 34°18'N, 海拔525 m)进行。该试验基地属暖温带季风半湿润气候,年平均气温12.9℃,全年无霜期210 d,年平均蒸发量约1 400 mm,年平均降雨量637.6 mm,降雨年内分布不均,7、8、9月降雨量占全年60%以上。供试土壤为中壤土,其基础理化性质:有机质13.40 g · kg⁻¹,全氮0.74 g · kg⁻¹,速效磷6.79 mg · kg⁻¹,速效钾144.76 mg · kg⁻¹,矿质氮10.05 mg · kg⁻¹,平均干容重1.39 g · m⁻³,田间持水率和凋萎系数分别为24%和8.5%(质量分数),表层土壤pH值8.14。夏玉米试验期内气象状况见图1,期间总降雨量564.4 mm,日平均气温22.1℃。

1.2 试验材料

供试玉米品种为郑单958;试验用地膜为普通白色塑料地膜,厚0.01 mm;试验用秸秆为上茬小麦秸秆。试验用氮肥为尿素(N≥46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅≥16%),钾肥为农业用硫酸钾(K₂O≥51%)。

1.3 试验设计

试验共设5个处理,其中平作无覆盖处理2个,常规播期处理(CK1)于2020年6月10日播种,晚播处理(CK2)于2020年6月21日播种,间隔11 d。垄沟种植处理垄上全部覆膜,按沟内覆盖方式分为沟不覆盖(LN)、沟覆秸秆(LJ)和沟覆膜(LM)3个处理,均与平作无覆盖晚播处理同一天(6月21日)播种。每个处理重复3次,共15个小区,随机区组排列。小区面积36 m²(6 m×6 m),周围均设1 m宽保护带。

于常规播期处理(CK1)播种前旋耕并平整土地。各处理施肥水平均为纯氮(200 kg · hm⁻²),P₂O₅

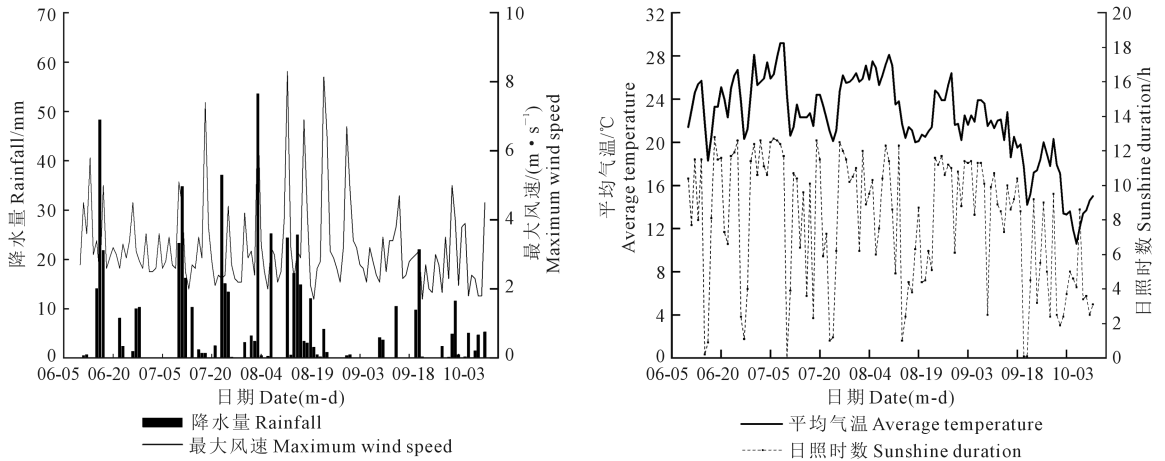


图 1 夏玉米生育期内温度、降雨、日照和风速

Fig.1 Temperature, rainfall, sunshine and wind speed during the growing period of summer maize

($120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), K_2O ($60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 全部于播种前基施, 未做追肥。夏玉米种植行距 60 cm , 株距 30 cm , 垄沟种植处理垄沟宽均为 60 cm , 于垄两侧种植。田间管理措施与当地一致, 及时间苗、除草、打药, 未补灌。受天气和成熟状态影响, 常规播期处理于 2020 年 9 月 30 日收获, 晚播处理于 2020 年 10 月 11 日收获。

1.4 测定项目和方法

1.4.1 土壤水分 用烘干法测定各处理 $0 \sim 200 \text{ cm}$ 土层土壤质量含水率。夏玉米播前、生育期内取 3 次(8 月 11 日, 8 月 28 日, 9 月 16 日)及收获后, 共 5 次取样。采用土钻取土, 每 20 cm 取 1 个土样, 105°C 烘干后称重计算含水率。

1.4.2 土壤温度 用直角式地温计测定各处理 5 、 10 、 15 、 20 、 25 cm 深度处的土壤温度, 测定时间为 $8:00 \sim 18:00$, 每 2 h 测 1 次, 每个生育期连续测定 3 d 。平作处理地温计埋于行间, 垄沟种植处理垄上和沟内各埋一组, 取其平均值作为该处理平均温度。

1.4.3 夏玉米生长指标 分别于 7 月 12 日、8 月 6 日、8 月 29 日和 9 月 25 日取样, 使用卷尺测定株高和叶面积, 游标卡尺测定茎粗, 后于烘箱 105°C 杀青 30 min , 75°C 烘干至恒重后得地上部干物质量。

1.4.4 夏玉米生育进程 以全小区 75% 以上植株表现某生育阶段特征为标准记录各处理生育进程。

1.4.5 夏玉米倒伏率 于 8 月 28 日测定了各处理倒伏株数, 除以各小区总株数即得倒伏率。

1.4.6 夏玉米产量指标 夏玉米成熟后, 为排除倒伏带来的影响, 于各小区随机选取 20 株未倒伏玉米, 取穗风干后测定穗长、穗粗、穗粒数和百粒重等产量构成指标, 其中百粒重取 75°C 烘干后折算至 14% 含水率数值。

1.5 数据处理和分析

采用 Excel 2019 进行数据整理; 用 SPSS 20.0 进行方差分析, 多重比较采用 Duncan 新复极差法, 显著水平 $\alpha = 0.05$; 用 Origin 2017 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理夏玉米生育期内土壤含水率

图 2 为夏玉米全生育期土壤含水率, 可见除播前土壤含水率较低外, 生育期内和播后各处理 $0 \sim 200 \text{ cm}$ 深度土壤含水率均逐渐达到并保持在 18% (75% 田间持水率) 左右或更高, 土壤水分充足, 处理间无显著差异。由图 1 所示气象数据可知, 夏玉米全生育期内降水较多, 且短时强降雨和连阴雨天气均有出现, 这为土壤补充了充足的水分, 导致垄沟种植方式在集雨增墒方面的优势未能展现。

2.2 不同处理夏玉米生育期内土壤温度

不同处理夏玉米 $0 \sim 25 \text{ cm}$ 深度土壤温度变化过程如图 3 所示, 可见随着玉米的生长发育, 各处理土壤温度均逐渐下降。拔节期和抽雄期雨水多、气温低, 因此其土壤温度相对苗期均较低。全生育期内, 垄沟处理的土壤温度均高于平作处理, 两者差异随时间逐渐减小。苗期垄沟处理增温效果最为显著, LN、LJ、LM 处理分别比 CK1 处理高 3.0 、 1.7°C 和 4.9°C 。LJ 处理苗期土壤温度相对其他方式较低, 说明秸秆起到了降温作用。拔节期降温效应不再显现, LN、LJ 两处理温度仅相差 0.1°C 。而后垄沟处理的增温效应逐渐减弱, LM 处理抽雄期和灌浆期温度分别比 CK1 处理高 2.1°C 和 1.0°C , 至成熟期处理间已无显著差异。垄沟种植增温效果减弱原因为中后期玉米覆盖度高, 减弱了阳光对表层土壤的影响。总体来看, 垄沟种植方式在夏玉米全生

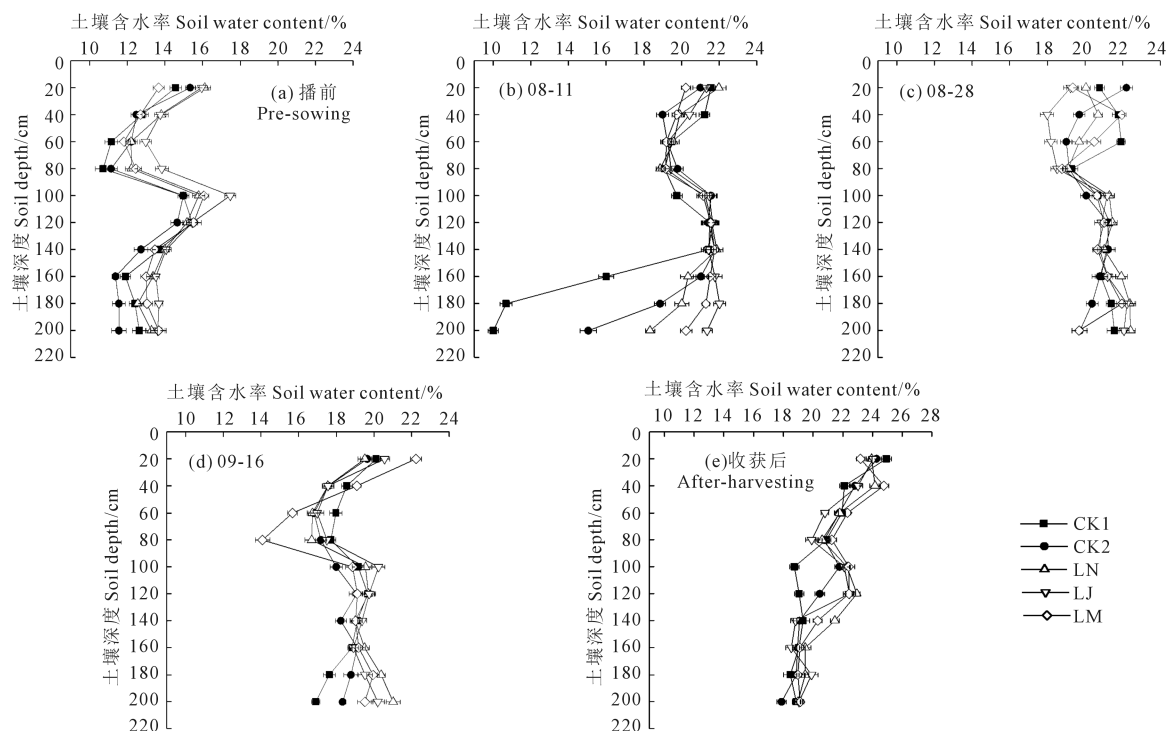


图 2 不同处理 0~200 cm 深度土层土壤含水量

Fig.2 Soil moisture content in 0~200 cm depth of different treatments

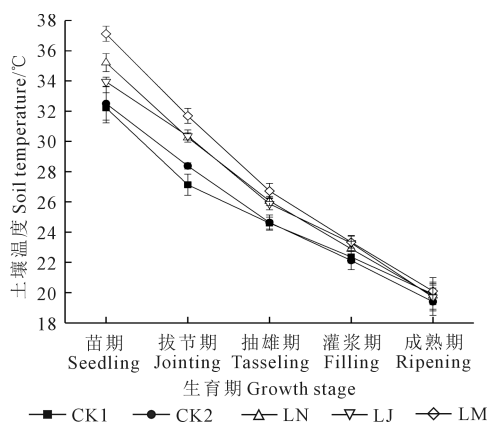


图 3 不同处理 0~25 cm 深度土层土壤温度

Fig.3 Soil temperature in 0~25 cm depth of different treatments

育期内提高了土壤温度,其增温效应随时间逐渐减弱。且全覆膜处理的增温效果最显著;秸秆处理除苗期相对起到降温作用外,其余时间与沟不覆盖处理未有明显差异。

2.3 不同处理夏玉米生长指标

各处理夏玉米生长指标见表 1。晚播处理株高与 CK1 处理的差异逐渐减小,在 8 月 29 日与其达到相同水平,CK1 处理在 7 月 12 日和 8 月 6 日分别比 CK2 处理高 73.6%和 25.2%;晚播处理间,LM 处理前期较高,7 月 12 日与其余 3 个处理差异显著。CK2 和 LN 处理株高在前期均显著较低,但随时间其劣势逐渐消失,LJ 处理株高前期较低,但增长速

度最快,在后期明显高于其他处理。茎粗 7 月 12 日表现为 CK1>LM>CK2>LN>LJ,其余时期处理间均无显著差异。叶面积指数随生育期变化规律与株高相似,晚播处理在 8 月 29 日达到或超过 CK1 处理;CK2 处理全生育期内均最低,LM 处理也仅在前期较高,LN 和 LJ 处理前期较低,但在后期较高;且 LJ 处理增长速度也最快,于 9 月 25 日达到最高水平。不同于以上 3 个指标,晚播夏玉米地上部干物质质量前 3 次均显著低于 CK1 处理,但到 9 月 25 日时均超过 CK1 处理。晚播处理间,除 7 月 12 日 LM 处理显著较高,9 月 25 日 CK2 处理显著较低外,其余时间处理间差异不明显。

综合来看,晚播处理生长指标均能在中后期达到或超过 CK1 处理水平。各处理发育特点为:LN 处理植株较为矮壮,除株高外其余指标劣势不大。LJ 处理苗期生长状态较差,但中后期生长迅速,在成熟期长势最为旺盛。相对其他处理,LM 处理前期生长状况较好,中后期植株长势中等,整体生长曲线较为平缓。而 CK2 处理的各项指标在各个时期均较低,其生长发育状态明显弱于垄沟种植处理。

2.4 不同处理夏玉米生育进程和倒伏情况

不同处理夏玉米生育进程和倒伏情况见表 2。生育前期,晚播处理播种至出苗和抽雄时长与 CK1 处理相差不大;8 月中下旬多强对流天气,23 日和 24 日最大风速分别达到 8.2、6.5 m · s⁻¹,导致玉米

发生不同程度倒伏。平作处理倒伏较严重,CK1 处理倒伏率达到了 73.1%,相对 CK2 处理高出 263.7%;而垄沟种植处理未发生大规模倒伏,处理间倒伏率无明显差异。9 月中下旬和 10 月上旬连绵阴雨,阻碍了玉米成熟期脱水,除 LM 外其余晚播处理全生育期相对延长了 7~8 d。且不同播期处理收获时植株状态也不同,CK1 处理收获时已经枯黄,而晚播处理收获时植株仍暗绿,含水率高,未至完熟状态。总体来看,晚播未对夏玉米前期生育进程造成明显影响,但除 LM 处理外,其余晚播处理的成熟过程均明显延长。常规播期平作处理倒伏严重,倒伏率远高于晚播平作处理;而垄沟种植处理未受明显影响。

2.5 不同处理夏玉米产量及构成

由表 3 分析知,晚播夏玉米的百粒重显著降低。单从播期角度,晚播夏玉米产量降低,CK1 相对 CK2 处理产量高 5.0%;单比较种植方式,LN 和 LM 处理均能提升夏玉米产量,LM 相对 CK2 处理增产 17.8%。结合来看,不同覆盖方式的补偿效果不同,LN 处理产量与 CK1 处理持平,而 LM 处理相对 CK1 处理增产 12.2%,LJ 处理产量明显降低,且其减产效果较 CK2 处理更显著。除百粒重外,LN 和 LM 处理各产量构成指标均较高。总结来看,种植方式对夏玉米产量的影响大于播期,垄沟种植方式达到了对晚播夏玉米产量的预期补偿效应。

表 1 不同处理夏玉米生长指标变化过程

Table 1 Change process of growth index of summer maize under different treatments

日期 Date(m-d)	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	叶面积指数 Leaf area index	地上部干物质量 / (kg · hm ⁻²) Aboveground dry matter
07-12	CK1	92a	16.8a	0.59a	606a
	CK2	53c	10.4c	0.27bc	194c
	LN	55c	9.5cd	0.23c	211c
	LJ	55c	8.2d	0.20c	217c
	LM	63b	12.3b	0.32b	267b
08-06	CK1	258a	26.8a	4.23a	5767a
	CK2	206bc	25.1a	2.44c	3444b
	LN	194c	24.6a	2.53c	3350b
	LJ	211b	26.3a	3.12b	3750b
	LM	217b	24.3a	2.74c	3628b
08-29	CK1	256b	23.1a	3.68bc	10928a
	CK2	259b	21.8a	3.35c	8183b
	LN	238c	22.1a	4.04ab	8144b
	LJ	278a	24.1a	4.45a	8856b
	LM	260b	21.8a	3.82bc	8750b
09-25	CK1	258b	20.5a	2.03c	12561c
	CK2	261b	19.3a	2.63b	13561b
	LN	254b	21.4a	3.20a	15172a
	LJ	270a	21.0a	3.32a	15189a
	LM	262b	20.4a	3.18a	14800a

注:同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different letters within same column mean significant difference among treatments, the same below.

表 2 不同处理夏玉米生育进程和倒伏情况

Table 2 Growth process and lodging of summer maize under different treatments

处理 Treatment	播种(m-d) Sowing	出苗(m-d) Emergence	抽雄(m-d) Tasseling	成熟(m-d) Mature	收获(m-d) Harvest	全生育期/d Whole growth period	倒伏率/% Lodging rate
CK1	06-10	06-17	07-31	09-18	09-30	100	73.1a
CK2	06-21	06-27	08-11	10-07	10-11	108	20.1b
LN	06-21	06-27	08-13	10-08	10-11	109	3.0c
LJ	06-21	06-27	08-13	10-07	10-11	108	2.5c
LM	06-21	06-27	08-11	09-30	10-11	101	1.2c

表3 不同处理夏玉米产量及产量构成指标

Table 3 Yield and yield component indexes of summer maize under different treatments

处理 Treatment	穗长/cm Ear length	穗粗/mm Ear diameter	穗粒数 Kernels per spike	百粒重/g 100-grain weight	籽粒产量/(kg·hm ⁻²) Grain yield
CK1	15.7c	50.0b	498c	35.0a	9896.0b
CK2	16.2bc	49.7b	571ab	29.0d	9423.8cd
LN	16.7ab	51.9a	562ab	30.3c	9783.8bc
LJ	15.8c	48.8b	543b	28.7d	9118.2d
LM	17.1a	52.5a	604a	33.8b	11101.7a

3 讨论

3.1 垄沟种植模式对土壤水热环境的影响

垄沟种植模式能改变土壤的水热条件,进而促进作物生长发育。前人在众多干旱年或水分亏缺条件下的研究中发现,垄沟种植模式能提高土壤含水率,集雨增墒^[22-24]。但本研究试验期内雨水较多,土壤含水率长期维持在高位水平,覆膜的保水增墒效果未能明显体现。

本研究发现,垄沟种植模式提升了0~25 cm土层土壤温度,且其增温效果在前期更显著,并随玉米生长逐渐减弱至消失,这与杨睿等^[25]和王秀康等^[26]的结果一致。但受气象因素影响,本研究土壤温度从苗期开始呈近似线性下降趋势,未呈现先上升后下降趋势。对于沟内不同的覆盖材料来说,冯浩等^[27]研究得出秸秆覆盖会降低土壤表层温度;高宇等^[28]研究得出全覆膜能达到最好的增温效果,与本研究结果一致。但本研究中秸秆降温的幅度与作用时期与前人^[29-30]的研究不一致,这也主要由气象因素导致。高温会对玉米造成伤害^[31-32],但本研究中未发生高温干旱胁迫,因此垄沟种植的增温效果对晚播夏玉米的生长发育起到了积极作用。

3.2 垄沟种植模式对夏玉米生长和产量的补偿效应

作物的生长发育会对水分、温度等因子做出响应。本研究结果有两点与前人一致:一是晚播平作夏玉米生长发育状态较差^[33],但多雨导致常、晚播间积温、降雨等因素相差不大,以至其生长状态和产量相对常规播期平作处理降幅不大;二是垄沟种植处理促进了夏玉米的生长发育进而增产^[25],且全覆膜的促进和增产作用更加显著^[34]。两者结合后,表现为垄沟种植处理株高、茎粗和叶面积指数在8月中下旬达到CK1处理水平,而地上部干物质量在成熟期达到,说明垄沟种植方式达到了良好的补偿效果。

但本研究结果也存在几点不同。首先,目前大部分研究发现,晚播玉米会因前期温度较高而生长迅速、生育期缩短^[13,35]。但本研究中晚播玉米生育

期反而不同程度延长,原因主要在于雨水多,不具备高温条件。第二,秸秆覆盖处理玉米前期生长发育情况较差,这与前人^[36-37]结果一致。部分研究^[38]中玉米中后期会因秸秆的增墒作用而生长迅速,赶超其余处理并增产;而本研究中玉米中后期贪长,进而造成减产,陈素英等^[39]曾在冬小麦的研究中取得类似结论。

较好的生长发育状态往往代表着较高的产量。刘锋等^[40]在对小麦的研究中发现,覆膜能使晚播冬小麦产量达到与适时播处理相同水平。本研究中玉米的产量与生长指标规律基本一致:CK2和LJ处理相对较低,LN处理达到与CK1相同水平,LM处理超过了CK1水平。大部分研究^[41-42]发现秸秆覆盖能增产,但实践中也有减产实例,如马忠明等^[37]研究中播前秸秆覆盖处理相对裸地减产3 219 kg·hm⁻²,减产幅度达32.8%;朱琳等^[43]和乔灵芝等^[44]研究中秸秆覆盖处理增产不显著,且后者研究中降雨也较多,与本研究情况类似。目前秸秆的具体效果至今仍存在较大争议,实践上还需要深入研究^[45]。从产量构成指标来看,所有晚播处理百粒重均低于常规播期平作处理,这与刘战东等^[46]和张宁等^[47]研究结果一致;且LN和LM处理各项构成指标均较高,因而达到了良好的补偿效果。

3.3 垄沟种植模式对夏玉米倒伏情况的影响

本研究发现平作种植的夏玉米倒伏更严重,且常规播期玉米倒伏率更高。目前关于不同播期玉米倒伏的研究较少,少数学者^[48-50]研究发现晚播玉米倒伏率高,但他们研究中品种、种植方式、倒伏发生时期等因素均与本研究有差异;张冬梅等^[50]的研究中金科玉3306品种不同播期倒伏率之间也未发现显著差异。本研究中平作处理倒伏严重原因可能为:倒伏发生时所有处理均已灌浆,但CK1处理发育早,其穗质量相对较高,因而植株重心相对较高^[51],易受大风影响;而CK2处理植株因生长发育状况较差,其茎秆抗倒伏能力也较差^[52]。本研究对倒伏的研究较粗略,倒伏发生也较为随机,后续需深入研究。

4 结 论

1) 湿润多雨条件下, 垄沟种植方式主要提升了夏玉米农田表层土壤温度, 集雨效果表现不明显。覆膜的增温效果在前期较为显著, 且全覆膜的增温效果最好, 秸秆覆盖在前期起到了降温作用。

2) 垄沟种植夏玉米的茎粗在拔节期与 CK1 处理达到相同水平, 而株高、叶面积指数在 8 月中下旬, 地上部干物质量在成熟期; 同时表现出了较低的倒伏率。全覆膜对晚播夏玉米生长达到了最好的补偿效应, 避免了成熟过程受阴雨影响而延长; 而秸秆覆盖不利于晚播垄沟种植夏玉米的生长发育。

3) 垄沟种植方式对晚播夏玉米产量影响显著, LN 处理产量与 CK1 相当, LM 处理产量在此基础上达到 $11\ 101.7\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增产 12.2%。秸秆覆盖对生长不利使夏玉米减产, 晚播夏玉米百粒重均明显降低。

综合考虑土壤水热、夏玉米生长和产量, 多雨条件下垄沟全覆膜为最优的晚播夏玉米补偿种植方式。

参 考 文 献:

- [1] 陈印军, 王琦琪, 向雁. 我国玉米生产地位、优势与自给率分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 7-16.
CHEN Y J, WANG Q Q, XIANG Y. Analysis on the status, superiority and self-sufficiency ratio of maize in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(1): 7-16.
- [2] 常艳丽, 刘俊梅, 李玉会, 等. 陕西关中平原小麦/玉米轮作体系施肥现状调查与评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 51-61.
CHANG Y L, LIU J M, LI Y H, et al. Investigation and evaluation of fertilization under winter wheat and summer maize rotation system in Guanzhong Plain, Shaanxi Province[J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2014, 42(8): 51-61.
- [3] 邹原东, 韩振芹. 播期对玉米产量及品质的影响研究进展[J]. 现代农业科技, 2018, (4): 7-8, 10.
ZOU Y D, HAN Z Q. Research progress on effect of sowing date on yield and quality of maize[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018, (4): 7-8, 10.
- [4] 李向岭, 赵明, 李从锋, 等. 播期和密度对玉米干物质积累动态的影响及其模型的建立[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2143-2153.
LI X L, ZHAO M, LI C F, et al. Effect of sowing-date and planting density on dry matter accumulation dynamic and establishment of its simulated model in maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(12): 2143-2153.
- [5] 董飞, 闫秋艳, 李峰, 等. 播期和种植密度对旱地玉米生长发育及产量的影响[J]. 玉米科学, 2020, 28(2): 115-121.
DONG F, YAN Q Y, LI F, et al. Effects of sowing date and planting

- density on growth and yield of dry-land maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(2): 115-121.
- [6] 孙宏勇, 刘小京, 王金涛, 等. 品种和播期对华北春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(6): 837-846.
SUN H Y, LIU X J, WANG J T, et al. Effects of sowing date and cultivar on grain yield and water use efficiency of spring maize in the North China Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(6): 837-846.
- [7] 张万旭, 明博, 王克如, 等. 基于品种成熟期和籽粒脱水特性的机收粒玉米适宜播期与收获期分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(10): 1890-1898.
ZHANG W X, MING B, WANG K R, et al. Analysis of sowing and harvesting allocation of maize based on cultivar maturity and grain dehydration characteristics[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10): 1890-1898.
- [8] 曹玉军, 吕艳杰, 王晓慧, 等. 基于 Hybrid-maize 模型的吉林省不同生态区玉米产量潜力研究[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(7): 926-934.
CAO Y J, LV Y J, WANG X H, et al. Analysis of yield potential of maize in different ecological regions in Jilin Province using hybrid-maize model[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(7): 926-934.
- [9] 任佰朝, 高飞, 魏玉君, 等. 冬小麦-夏玉米周年生产条件下夏玉米的适宜成熟期与积温需求特性[J]. 作物学报, 2018, 44(1): 137-143.
REN B C, GAO F, WEI Y J, et al. Suitable maturity period and accumulated temperature of summer maize in wheat-maize double cropping system[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(1): 137-143.
- [10] 张镇涛, 杨晓光, 高继卿, 等. 气候变化背景下华北平原夏玉米适宜播期分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(17): 3258-3274.
ZHANG Z T, YANG X G, GAO J Q, et al. Analysis of suitable sowing date for summer maize in North China plain under climate change[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(17): 3258-3274.
- [11] 戴明宏, 陶洪斌, 廖树华, 等. 基于 CERES-Maize 模型的华北平原玉米生产潜力的估算与分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 30-36.
DAI M H, TAO H B, LIAO S H, et al. Estimation and analysis of maize potential productivity based on CERES-Maize model in the North China Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(4): 30-36.
- [12] 周忠文, 焦美龄, 段金省. 不同播种期对玉米生长发育和产量的影响研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 105-110.
ZHOU Z W, JIAO M L, DUAN J S. Impacts of the different seeding time on growing development and production of corn[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(24): 105-110.
- [13] 薛庆禹, 王靖, 曹秀萍, 等. 不同播期对华北平原夏玉米生长发育的影响[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(5): 30-38.
XUE Q Y, WANG J, CAO X P, et al. Effect of sowing date and variety on growth and population characteristics of summer maize in North China Plain[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17(5): 30-38.
- [14] ZHOU B Y, YUE Y, SUN X F, et al. Maize kernel weight responses to sowing date-associated variation in weather conditions[J]. The Crop Journal, 2017, 5(1): 43-51.
- [15] 周昌明. 地膜覆盖及种植方式对土壤水氮利用及夏玉米生长、产量

- 的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
- ZHOU C M. Effect of different environmental films mulching and cropping patterns on soil water and nitrogen utilization and summer maize growth[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.
- [16] GU X B, LI Y N, DU Y D. Continuous ridges with film mulching improve soil water content, root growth, seed yield and water use efficiency of winter oilseed rape[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 85: 139-148.
- [17] GU X B, LI Y N, DU Y D. Optimized nitrogen fertilizer application improves yield, water and nitrogen use efficiencies of winter rapeseed cultivated under continuous ridges with film mulching[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 109: 233-240.
- [18] 王同花,李援农.起垄覆膜沟播对冬小麦土壤水分利用效率及土壤温度的影响[J].中国农村水利水电,2011,(1):46-49.
- WANG T H, LI Y N. Effect of furrow planting winter wheat with plastic film mulching on water-use efficiency and soil temperature[J]. China Rural Water and Hydropower, 2011,(1): 46-49.
- [19] 黄伟.宁南旱作农区集雨节水高效种植技术体系研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
- HUANG W. Study on system of high effective cultivation technology of water catchment and water saving in arid farming of the south of Ningxia[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2009.
- [20] ZHAO H, XIONG Y C, LI F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem[J]. Agricultural Water Management, 2012, 104: 68-78.
- [21] MASVAYA E N, NYAMANGARA J, DESCHEEMAER K, et al. Tillage, mulch and fertiliser impacts on soil nitrogen availability and maize production in semi-arid Zimbabwe[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 168: 125-132.
- [22] YIN M H, LI Y N, XU Y B, et al. Effects of mulches on water use in a winter wheat/summer maize rotation system in Loess Plateau, China[J]. Journal of Arid Land, 2018, 10(2): 277-291.
- [23] 谷晓博,李援农,周昌明,等.垄沟集雨补灌对冬油菜根系、产量与水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2016,47(4):90-98,112.
- GU X B, LI Y N, ZHOU C M, et al. Effects of ridge and furrow rain harvesting cultivation with supplemental irrigation on root, yield and water use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4): 90-98, 112.
- [24] 李富春,王琦,张登奎,等.沟覆盖材料对垄沟集雨种植土壤水分和玉米根系分布的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):33-40,70.
- LI F C, WANG Q, ZHANG D K, et al. Effects of furrow-mulching materials on soil moisture and maize root distribution in ridge-furrow rainwater harvesting system[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(1): 33-40, 70.
- [25] 杨睿,郑静,范军亮,等.覆膜方式对旱作夏玉米产量和温室气体排放的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(4):285-292,302.
- YANG R, ZHENG J, FAN J L, et al. Effects of different film mulching methods on greenhouse gas emissions and yield of dryland summer maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(4): 285-292, 302.
- [26] 王秀康,李占斌,邢英英.覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):884-897.
- WANG X K, LI Z B, XING Y Y. Effects of mulching and fertilization on maize yield, soil temperature and nitrate-N distribution[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2015, 21(4): 884-897.
- [27] 冯浩,刘匡,余坤,等.不同覆盖方式对土壤水热与夏玉米生长的影响[J].农业机械学报,2016,47(12):192-202.
- FENG H, LIU X, YU K, et al. Effects of different mulching patterns on soil moisture, soil temperature and summer maize growth[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(12): 192-202.
- [28] 高宇,任永峰,尹秀兰,等.旱作作物垄膜种植增温作用及增产效应研究[J].土壤通报,2017,48(3):589-596.
- GAO Y, REN Y F, YIN X L, et al. Effects of increasing temperature and yield under cultivation of full plastic film mulching on double ridges in dryland crops[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(3): 589-596.
- [29] 银敏华,李援农,张天乐,等.集雨模式对农田土壤水热状况与水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2015,46(12):194-203,211.
- YIN M H, LI Y N, ZHANG T L, et al. Effects of different rainwater harvesting patterns on soil hydrothermal regimes and water use efficiency of summer maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 194-203, 211.
- [30] 李荣,王敏,贾志宽,等.渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响[J].农业工程学报,2012,28(2):106-113.
- LI R, WANG M, JIA Z K, et al. Effects of different mulching patterns on soil temperature, moisture water and yield of spring maize in Weibei highland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 106-113.
- [31] 任寒,刘鹏,董树亭,等.高温胁迫影响玉米生长发育的生理机制研究进展[J].玉米科学,2019,27(5):109-115.
- REN H, LIU P, DONG S T, et al. Research advancements of effect of high temperature stress on growth and development of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(5): 109-115.
- [32] 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等.地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J].农业工程学报,2008,24(4):99-102.
- ZHANG D M, CHI B L, HUANG X F, et al. Analysis of adverse effects on maize yield decrease resulted from plastic film mulching in dryland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(4): 99-102.
- [33] 王韵翔,吴裕如,王承,等.播期对夏玉米生长发育及产量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2019,45(5):461-465.
- WANG Y X, WU Y R, WANG C, et al. Effects of sowing dates on the growth and yield for summer maize varieties[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2019, 45(5): 461-465.
- [34] 谢军红,李玲玲,张仁陟,等.覆膜、沟垄作对旱作农田玉米产量和水分利用的叠加效应[J].作物学报,2018,44(2):268-277.
- XIE J H, LI L L, ZHANG R Z, et al. Superimposition effect of film-mulching and furrow ridging culture on maize grain yield and WUE in Loess Plateau[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(2): 268-277.
- [35] 李挺,牛春丽,王淑惠.播期对夏玉米阶段发育和产量性状的影响[J].安徽农业科学,2005,33(7):1156-1158.

- LI T, NIU C L, WANG S H. Effect of sowing time on the summer maize development and yield[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005, 33(7): 1156-1158.
- [36] 李月兴,张宝丽,魏永霞.秸秆覆盖的土壤温度效应及其对玉米生长的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(2):82-85.
- LI Y X, ZHANG B L, WEI Y X. Effects of straw mulching on ground temperature and growth relationship of maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(2): 82-85.
- [37] 马忠明,徐生明.甘肃河西绿洲灌区玉米秸秆覆盖效应的研究[J].甘肃农业科技,1998,(3):15-17.
- MA Z M, XU S M. Study on maize straw mulching effect in oasis irrigated area of Hexi, Gansu province[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 1998,(3): 15-17.
- [38] 汪可欣,付强,姜辛,等.秸秆覆盖模式对玉米生理指标及水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2014,45(12):181-186.
- WANG K X, FU Q, JIANG X, et al. Effect of straw mulching mode on maize physiological index and water use efficiency [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(12): 181-186.
- [39] 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.
- CHEN S Y, ZHANG X Y, LIU M Y. Soil temperature and soil water dynamics in wheat field mulched with maize straw [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2002, 23(4): 34-37.
- [40] 刘锋,孙本普,李秀云.不同栽培方式对晚播小麦生长发育的影响[J].安徽农业科学,2010,38(33):18717-18719.
- LIU F, SUN B P, LI X Y. Effects of different cultivation ways on the development and growth of late sown wheat[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(33): 18717-18719.
- [41] 殷涛,何文清,严昌荣,等.地膜秸秆双覆盖对免耕种植玉米田土壤水热效应的影响[J].农业工程学报,2014,30(19):78-87.
- YIN T, HE W Q, YAN C R, et al. Effects of plastic mulching on surface of no-till straw mulching on soil water and temperature[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(19): 78-87.
- [42] 蔡太义,贾志宽,孟蕾,等.渭北旱塬不同秸秆覆盖量对土壤水分和春玉米产量的影响[J].农业工程学报,2011,27(3):43-48.
- CAI T Y, JIA Z K, MENG L, et al. Effects of different rates of straw mulch on soil moisture and yield of spring maize in Weibei highland area of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(3): 43-48.
- [43] 朱琳,刘毅,徐洪敏,等.黄土旱塬不同水分管理模式对旱作春玉米土壤温度的影响[J].中国农业科学,2009,42(12):4396-4402.
- ZHU L, LIU Y, XU H M, et al. Effects of water management patterns in spring maize cultivation on the dryland soil temperature dynamics in the Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(12): 4396-4402.
- [44] 乔灵芝,王俊鹏,张春,等.秋覆盖的保水效应及对春玉米生长的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):13-18,65.
- QIAO L Z, WANG J P, ZHANG C, et al. Effects of autumn covering on soil water storage and spring maize growth[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(3): 13-18, 65.
- [45] 高亚军,李生秀.旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J].农业工程学报,2005,21(7):15-19.
- GAO Y J, LI S X. Cause and mechanism of crop yield reduction under straw mulch in dryland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(7): 15-19.
- [46] 刘战东,肖俊夫,南纪琴,等.播期对夏玉米生育期、形态指标及产量的影响[J].西北农业学报,2010,19(6):91-94.
- LIU Z D, XIAO J F, NA J Q, et al. Effect of sowing date on growth stages, morphological index and yield of summer maize[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(6): 91-94.
- [47] 张宁,杜雄,江东岭,等.播期对夏玉米生长发育及产量影响的研究[J].河北农业大学学报,2009,32(5):7-11.
- ZHANG N, DU X, JIANG D L, et al. Effect of sowing date on growth and yield of summer corn (*Zea mays*.L.) [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2009, 32(5): 7-11.
- [48] 李树岩,王宇翔,胡程达,等.抽雄期前后大风倒伏对夏玉米生长及产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(8):2405-2413.
- LI S Y, WANG Y X, HU C D, et al. Effects of strong wind lodging at pre-and post-tasseling stages on growth and yield of summer maize [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(8): 2405-2413.
- [49] 王荣焕,徐田军,赵久然,等.播期和密度对玉米子粒机收主要性状的影响[J].玉米科学,2017,25(3):94-98.
- WANG R H, XU T J, ZHAO J R, et al. Effects of sowing date and planting density on maize grain mechanical harvesting related traits [J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(3): 94-98.
- [50] 张冬梅,杨柯,姜春霞,等.不同播期春玉米生理成熟后倒伏特征及其影响因素[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(4):725-737.
- ZHANG D M, YANG K, JIANG C X, et al. Lodging characteristics after physiological maturity of spring maize sowed at different dates and its influencing factors [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(4): 725-737.
- [51] 王亮,丰光,李妍妍,等.玉米倒伏与植株农艺性状和病虫害发生关系的研究[J].作物杂志,2016,(2):83-88.
- WANG L, FENG G, LI Y Y, et al. Relationship between maize lodging resistance and agronomic traits, plant diseases, and insect pests [J]. Crops, 2016,(2): 83-88.
- [52] 边大红,刘梦星,牛海峰,等.施氮时期对黄淮海平原夏玉米茎秆发育及倒伏的影响[J].中国农业科学,2017,50(12):2294-2304.
- BIAN D H, LIU M X, NIU H F, et al. Effects of nitrogen application times on stem traits and lodging of summer maize (*Zea mays* L.) in the Huang-Huai-Hai plain[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(12): 2294-2304.