

## 灌浆期低温对夏玉米光合性能及产量的影响

王若男 任伟 李叶蓓 张萍 陈璐洁 陶洪斌 王璞\*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

**摘要** 以郑单 958 为供试品种,设置了 6 月 15 日(对照)、6 月 25 日和 7 月 5 日 3 个播期,研究灌浆期低温对夏玉米光合性能、干物质生产转运及产量的影响,以期为华北平原夏玉米充分利用热量资源、指导生产实践和实现高产稳产提供理论依据。结果表明:6 月 25 日和 7 月 5 日播期的夏玉米在灌浆期均遭遇不同程度的低温胁迫,且随着播期的推迟受胁迫程度随之加剧,这 2 个播期的玉米光合性能、干物质积累量与转运量、群体生长率均较对照呈逐渐降低趋势。3 个播期的单位面积总粒数之间差异不显著,但千粒重在不同播期间差异显著,最终 6 月 25 日和 7 月 5 日播种的玉米产量较对照分别显著下降了 17% 和 31%。因此,应该选择适宜的夏玉米播种时间,降低玉米在灌浆后期遭遇低温逆境的几率,进而保障玉米生育后期的正常灌浆,最终实现玉米抗逆高产的目标。

**关键词** 夏玉米;灌浆期;低温;光合性能;干物质生产;产量

中图分类号 S 513

文章编号 1007-4333(2016)02-0001-08

文献标志码 A

## Effects of low temperature during grain filling stage on photosynthetic characteristics and yield of summer maize

WANG Ruo-nan, REN Wei, LI Ye-bei, ZHANG Ping, CHEN Lu-jie, TAO Hong-bin, WANG Pu\*

(College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** A field experiment was conducted in order to analysis the impacts of low-temperature during grain filling stage on photosynthetic characteristics, dry matter translocation and yield of summer maize. The experiment was set up at Shangzhuang Experimental Station of China Agricultural University (Beijing) in 2013. Three sowing dates were arranged with randomized block design: June 15 (CK), June 25, and July 5 with 3 replicates. Leaf area index, dry matter accumulation, net photosynthesis rate, SPAD values,  $F_v/F_m$ , and grain yield were measured. The results showed: Delayed sowing date (June 25 and July 5) caused low temperature stress to maize during grain filling stage and sowing on July 5 significantly limited maize growth; Photosynthesis, dry matter accumulation and translocation, crop growth rate of delayed sowing treatments were all significantly decreased compared with CK. Among yield components, total amount of grains were similar across treatments, while thousand-grain weight of delayed sowing treatments were significantly less than CK. Hence, grain yield reduced by 17% and 31% of maize sowed on June 25 and July 5 respectively compared to CK. Therefore, selection of proper sowing date of summer maize would reduce the risk of low-temperature during the late filling period of maize, and improve maize resistance to cold stress and yield production.

**Keywords** summer maize; grain filling stage; low-temperature; photosynthetic characteristics; dry matter production; yield

玉米是典型的喜温作物,生产过程中常遭受低温冷害影响生长发育和产量。在我国华北平原夏玉米种植区,因秋季气温下降较快,夏玉米在灌浆期常

面临秋季低温快速下降带来的低温伤害,尤其是随着生育期较长品种的使用,低温危害几率也在增加<sup>[1]</sup>。近年来气象统计资料表明,华北地区 9 月下

收稿日期:2015-04-13

基金项目:国家现代产业技术体系建设专项(CARS-02-26)

第一作者:王若男,硕士研究生,E-mail:wrnan12@126.com

通讯作者:王璞,教授,主要从事作物高产高效栽培工程研究,E-mail:wangpu@cau.edu.cn

旬夜间最低温度常降至11~15℃,日平均气温约为17~20℃,并且往往伴随着秋季初霜冻日的出现<sup>[2]</sup>。因此,夏玉米灌浆期遭遇低温胁迫的风险增大,玉米生产必须考虑灌浆期低温对其生长发育和产量的影响。

玉米获得最高产量的灌浆期适宜日平均温度为22~24℃,当该时期日平均气温降至20℃,籽粒灌浆缓慢,降至18℃灌浆速度显著降低,当降至16℃灌浆过程基本停止<sup>[3-5]</sup>。叶片是玉米主要的光合器官,其光合能力高低是决定产量的关键因素<sup>[6]</sup>,而灌浆期低温会降低玉米叶片的光合速率,减弱玉米干物质生产与转运,不利于夏玉米生育后期的灌浆期籽粒充实进程,最终降低籽粒产量。现有研究报道对春播区早春低温条件下玉米的生长发育研究较多,而对华北夏播区灌浆期低温对玉米叶片光合性能和产量的影响研究鲜见报道。

本研究拟通过大田分期播种以创建灌浆期低温环境,研究灌浆期低温对夏玉米光合特性、干物质生产和产量的影响,以期在低温条件下夏玉米高产抗逆种植提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2013年在中国农业大学上庄试验站(39°54'N,116°24'E)进行。气象数据来自中国气象科学数据共享服务网平台。试验地土壤为壤土,耕作层0~20 cm土壤有机质含量1.1%,速效氮(N)1.0 g/kg,速效磷(P)23.2 mg/kg,速效钾(K)87.2 mg/kg。

### 1.2 试验设计及田间管理

本试验采用随机区组设计,设置了3个播期,即6月15日、6月25日和7月5日,其中6月15日播期为正常播期作为对照处理。共计3个处理,每个处理3次重复,共9个小区,小区面积为10 m×10 m。

供试品种为夏玉米杂交种郑单958,密度为67 500株/hm<sup>2</sup>。氮肥(尿素)施用量为180 kg/hm<sup>2</sup>,分基肥和大喇叭口期追肥2次施用,基追比为1:2,钾肥(硫酸钾)和磷肥(过磷酸钙)均为一次性基施,施肥量分别为K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>。6月15日播期于10月14日收获,6月25日播期和7月5日播期于10月24日收获。其他按常规大田管理。

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 叶面积指数和干物质积累

分别在拔节期(7叶展)、大喇叭口期(12叶展)、吐丝期、吐丝后25 d和成熟期,从每个小区取3株代表性植株进行考查,采用长宽法测量叶面积并计算叶面积指数(Leaf area index, LAI),然后将植株分叶、茎、苞叶、籽粒和穗轴5部分,105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重后称量各器官干重。

#### 1.3.2 光合特性

分别在夏玉米吐丝期、吐丝后30 d,在上午9:00—12:00用LI-6400型便携式光合作用测定系统(美国)测定穗位叶净光合速率( $P_n$ ),3次重复;用SPAD-502型叶绿素计(日本美能达公司)测定棒三叶的相对叶绿素值(Soil and plant analyzer development, SPAD);用PAM-2000 Walz便携式叶绿素荧光仪(德国)测定PS II原初光能转化效率( $F_v/F_m$ )。

#### 1.3.3 产量和产量构成因素

在每小区中间收获长度为5 m的玉米4行,统计双穗数和总穗数,按平均重量从中随机挑取20穗,调查穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数和千粒重等穗部性状,同时计算籽粒实际产量(按14%折算含水率)。

### 1.4 数据处理及分析方法

$$\text{叶面积} = \text{长} \times \text{宽} \times k \quad (1)$$

式中:展开叶 $k$ 为0.75,未展开叶 $k$ 为0.5。

$$\text{LAI} = \text{绿叶面积} / \text{土地面积} \quad (2)$$

$$\text{光合势(Leaf area duration, LAD)} = (L_1 + L_2) / 2 \times (t_2 - t_1) \quad (3)$$

式中: $t_2$ 、 $t_1$ 时测定的叶面积分别为 $L_2$ 、 $L_1$ 。

$$\text{群体生长率(Crop growth rate, CGR)} = (W_2 - W_1) / (A \times (t_2 - t_1)) \quad (4)$$

式中: $t_2$ 、 $t_1$ 时测定的干物重分别为 $W_2$ 、 $W_1$ , $A$ 为土地面积。

$$\text{营养器官物质转运率} = (\text{该器官吐丝期干重} - \text{该器官成熟时干重}) / (\text{该器官吐丝期干重} \times 100\%) \quad (5)$$

$$\text{营养器官对籽粒贡献率} = (\text{该器官吐丝期干重} - \text{该器官成熟时干重}) / (\text{籽粒干重} \times 100\%) \quad (6)$$

$$\text{收获指数(Harvest index, HI)} = \text{籽粒产量} / \text{生物产量} \quad (7)$$

采用Excel 2007和SAS version 8e进行试验数据录入、模型模拟及方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同播期条件下灌浆期温度分析

由表1可知,播种~吐丝期,3个播期的生育进程随着日平均温度的升高而加快,生育天数缩短。吐丝期~吐丝后25 d,3个播期的日平均温度和有效积温随着播期的推迟而降低,6月25日和7月5日播期的日平均温与6月15日播期相比降幅分别

为11%和17%,有效积温降幅分别为17%和27%,且3个播期的日平均温均在适宜灌浆温度范围内。吐丝后25 d~吐丝后55 d,6月15日播期的日平均温在20℃左右,6月25日播期的日平均温在19℃左右,7月5日播期日平均温在16℃左右,6月25日播期和7月5日播期与6月15日播期相比日平均温降幅分别为8%和19%,有效积温降幅分别为16%和38%。

表1 夏玉米不同播期不同生育阶段光温值比较

Table 1 Comparison of the value of sunshine and temperature under different sowing date in different regions of summer maize

播期 Sowing date	生长时期 Growth stage	时间/d Days	日平均温/℃ Daily mean temperature	有效积温/(℃·d) Effective accumulated temperature
6月15日 June 15	播种期~吐丝期	58	26.8	974
	吐丝期~吐丝后25 d	25	26.4	410
	吐丝后25 d~吐丝后55 d	30	20.0	300
6月25日 June 25	播种期~吐丝期	57	27.4	992
	吐丝期~吐丝后25 d	25	23.8	345
	吐丝后25 d~吐丝后55 d	30	18.5	254
7月5日 July 15	播种期~吐丝期	55	27.4	957
	吐丝期~吐丝后25 d	25	22.1	303
	吐丝后25 d~吐丝后55 d	30	16.0	179

灌浆期温度与产量形状相关性分析表明(表2),在灌浆期,日平均温度与产量呈显著正相关,有效积温与产量呈正相关;在吐丝后25 d~吐丝后55 d,日平均温度和有效积温与产量呈正相关。可见,各生育阶段日平均温度和有效积温与产量相

关性较大,且随着播期推迟呈明显的下降趋势,尤其在灌浆中后期温度明显下降,6月25日播种的和7月5日播期的玉米籽粒灌浆在吐丝后25 d~吐丝后55 d这一阶段均受到一定程度的低温胁迫,且随着播期的推迟,胁迫程度也随之加剧,严重影响产量。

表2 吐丝期~吐丝后55 d总日照时数、日平均温度、有效积温和产量的相关性分析

Table 2 Analysis of total sunshine hours, daily mean temperature, effective accumulated temperature and yield during silking stage to 55 days after silking

参数 Parameter	日平均温度 Daily mean temperature	有效积温 Effective accumulated temperature	产量 Yield
日平均温度 Daily mean temperature	1		
有效积温 Effective accumulated temperature	1.000**	1	
产量 Yield	0.997*	0.996	1

注: \*\* 表示相关性极显著( $P < 0.01$ ), \* 表示相关性显著( $P < 0.05$ )。

Note: \*\* means highly significant correlation ( $P < 0.01$ ), \* means significant correlation ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 灌浆期低温对夏玉米光合生产能力的影

### 2.2.1 灌浆期低温对夏玉米 LAI 的影响

由图 1 可知,不同播期条件下,玉米 LAI 发展动态均呈单峰曲线变化,在吐丝期达到高峰期,吐丝后 25 d 后叶面积迅速衰减,且生育时期随着播期的推迟而推迟。3 个播期的 LAI 在吐丝前差异均不显著;3 个播期在吐丝开花期和灌浆期的 LAI 均随着播期的推迟而降低,灌浆前期 3 个播期的 LAI 下降速率缓慢,灌浆中后期 3 个播期的 LAI 下降速率加快,其中 7 月 5 日播期下降幅度最大,这与 7 月 5 日播期玉米灌浆后期(9 月下旬—10 月中旬)低温(16 °C)导致叶片早衰有很大的关系。由此说明,灌浆期低温加速了叶片的衰老,使夏玉米灌浆后期群体叶面积下降幅度增大,叶片功能期缩短,大大降低了夏玉米灌浆后期的光合生产能力。

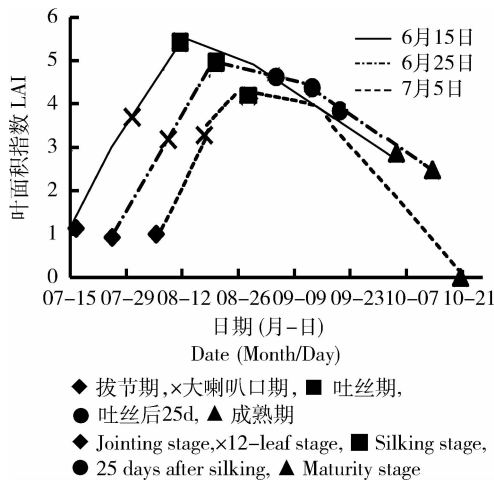


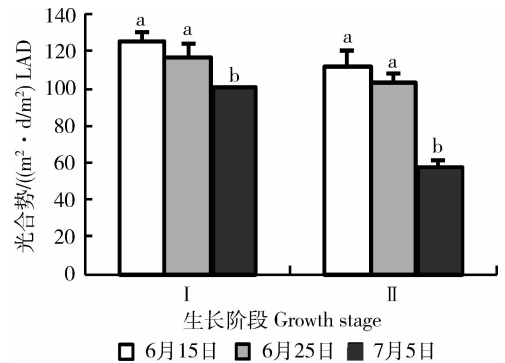
图 1 灌浆期低温对夏玉米叶面积指数的影响

Fig. 1 Effects of low-temperature during grain filling stage on LAI in summer maize

### 2.2.2 灌浆期低温对夏玉米光合势的影响

由图 2 可知,各播期的光合势均随着生育时期呈下降趋势,每一生长阶段的光合势均随着播期的推迟而降低。吐丝期~吐丝后 25 d,6 月 25 日播期的光合势与 6 月 15 日播期差异不显著,7 月 5 日播期的光合势较 6 月 15 日播期和 6 月 25 日的显著下降,降幅分别为 20% 和 14%;吐丝 25 d~成熟期这一阶段,6 月 25 日播期的光合势与 6 月 15 日播期差异不显著,而 7 月 5 日播期在灌浆中后期遭遇低温胁迫强度较大,叶面积显著降低,导致其光合势的下降幅度增大,分别较 6 月 15 日播期和 6 月 25 日显著下降 49% 和 44%。由此说明,灌浆期遭遇低温

逆境显著降低了玉米叶片的光合势,不利于夏玉米吐丝后叶片光合生产能力的提高,进而有可能限制产量的提高。



I:吐丝期~吐丝 25 d; II:吐丝 25 d~成熟期。相同字母表示不同播期,同一生长阶段在 0.05 水平上无显著差异。下同

I:Silking stage-25 days after silking; II:25 days after silking-Maturity stage. Same letters represent no significant difference at 0.05 level among three sowing dates them according to Duncan Test in same growth stage. The same as following figure.

图 2 灌浆期低温对夏玉米群体光合势的影响

Fig. 2 Effects of low-temperature during grain filling stage on LAD in summer maize

### 2.2.3 灌浆期低温对夏玉米光合参数的影响

由表 3 可知,吐丝期 3 个播期穗位叶的 SPAD 值、 $P_n$  和  $F_v/F_m$  呈逐渐下降趋势,但是此时温度处于灌浆期适宜温度范围内,因此除 7 月 5 日播期穗位叶的 SPAD 值与正常播期相比差异显著外,6 月 25 日播期和 7 月 5 日播期的其他穗位叶光合参数与正常播期相比差异均不显著。吐丝后 30 d,6 月 25 日播期和 7 月 5 日播期遭遇灌浆期低温,因此其穗位叶的 SPAD 值、 $P_n$  和  $F_v/F_m$  受到灌浆期低温的影响,均较正常播期明显下降,且播期越晚下降程度越显著,7 月 5 日播期穗位叶的 SPAD 值、 $P_n$  和  $F_v/F_m$  较对照的下降幅度分别为 11%、20% 和 14%。总之,灌浆期低温降低了叶片的光合能力,进而不利于玉米灌浆后期的生物产量累积。

## 2.3 灌浆期低温对夏玉米干物质生产的影响

### 2.3.1 灌浆期低温对夏玉米干物质积累和群体生长率的影响

由图 3(a)可知,随播期的推迟,各生育时期相应推迟,且夏玉米单株干物质积累量逐渐减少,6 月 25 日播期灌浆期的单株干物质积累量与 6 月 15 日播期差异不显著,而 7 月 5 日播期在灌浆期的单株干物质积累量显著低于 6 月 15 日播期。由图 3(b)

表3 灌浆期低温对夏玉米光合参数的影响

Table 3 Effects of low-temperature during grain filling stage on photosynthetic parameters in summer maize

生长阶段 Growth stage	播期 Sowing date	相对叶绿素含量 SPAD	净光合速率/ $(\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$ <i>P<sub>n</sub></i>	叶绿素荧光 <i>F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub></i>
吐丝期 Silking stage	6月15日	57.7 a	30.1 a	0.799 a
	6月25日	57.0 a	29.6 a	0.781 a
	7月5日	54.4 b	29.2 a	0.785 a
吐丝后30 d 30 days after silking	6月15日	55.3 a	28.3 a	0.779 a
	6月25日	52.5 b	26.0 ab	0.726 ab
	7月5日	49.4 c	22.6 b	0.671 b

注：每列数字后相同字母表示在0.05水平上无显著差异。下表同。

Note: Values followed by same letters in each column are not significantly different at 0.05 level according to Duncan Test. The same as in the following tables.

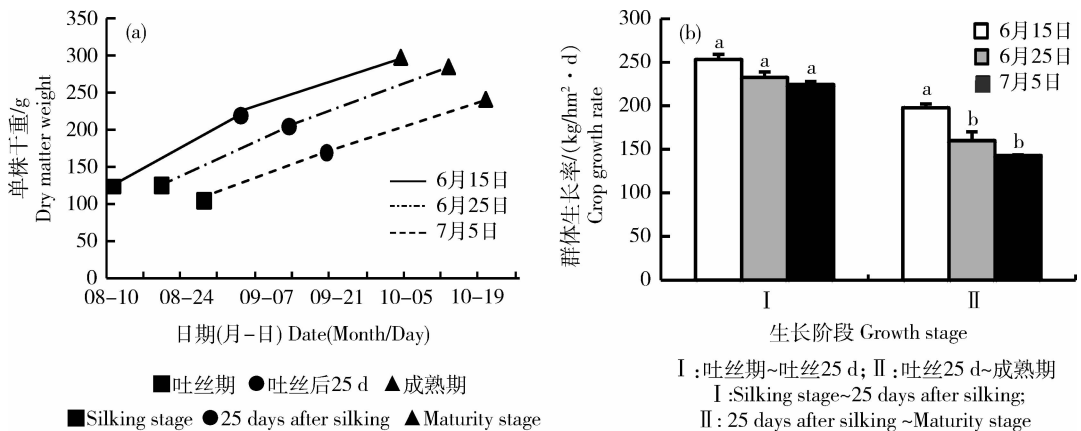


图3 灌浆期低温对夏玉米干物质积累(a)和群体生长率(b)的影响

Fig. 3 Effects of low-temperature during grain filling stage on dry matter accumulation (a) and crop growth rate (b) in summer maize

可知,各播期的群体生长率随着生育时期均呈下降趋势,每一生长阶段的群体生长率均随着播期的推迟而降低。吐丝期~吐丝后25 d这一阶段,3个播期的群体生长率差异不显著;吐丝后25 d~成熟期这一阶段,6月25日播期和7月5日播期在灌浆中后期遭遇低温胁迫,叶面积显著下降,叶片光合能力减弱,导致其群体生长率显著下降,且播期越晚,下降越显著。由此说明,灌浆期低温限制了群体干物质生产能力的提高,严重影响了玉米植株吐丝后干物质的积累,不利于夏玉米群体最终产量的提高。

### 2.3.2 灌浆期低温对夏玉米各器官转运率和籽粒贡献率的影响

由表4可知,同一播期全生育期各器官的转运

量以茎鞘最大;转运率以苞叶最大,茎鞘次之,叶片最低;各器官对籽粒贡献率表现为茎鞘>苞叶>叶片。不同播期处理之间叶片、茎鞘及苞叶的转运量、转运率及贡献率均表现为:6月15日播期>6月25日播期>7月5日播期,其中7月5日播期处理的灌浆期遭受低温胁迫最严重,导致其茎鞘转运量、苞叶转运率和茎鞘籽粒贡献率较对照下降最显著。

茎鞘转运率是反应干物质转运能力的重要指标,茎鞘转运率高则表示干物质能最大限度转运给籽粒,反之限制干物质的转运<sup>[7]</sup>。如表4所示,茎鞘转运率随着播期的推迟而呈下降趋势,这表明灌浆期低温限制了干物质的转运过程,导致干物质不能最大限度转运给籽粒,最终导致籽粒产量降低。

表4 灌浆期低温对夏玉米各器官转运率和籽粒贡献率的影响

Table 4 Effects of low-temperature during grain filling stage on the transfer ratio and grain contribution ratio of summer maize organ

播期 Sowing date	叶片 Leaf			茎鞘 Stem+Sheath			苞叶 Husk		
	转运量/g Amount of transfer	转运率/% Transfer ratio	贡献率/% Contribution ratio	转运量/g Amount of transfer	转运率/% Transfer ratio	贡献率/% Contribution ratio	转运量/g Amount of transfer	转运率/% Transfer ratio	贡献率/% Contribution ratio
6月15日 June 15	2.12 a	4.9 a	1.4 a	11.1 a	13.0 a	7.4 a	4.20 a	28.5 a	2.8 a
6月25日 June 25	1.76 b	4.4 a	1.2 a	5.0 b	6.7 b	3.5 b	3.64 a	23.1 b	2.6 a
7月5日 July 5	0.66 c	1.9 b	0.6 b	1.2 c	1.8 c	1.1 c	1.18 b	10.5 c	1.1 b

## 2.4 灌浆期低温对夏玉米产量构成及收获指数的影响

由表5可知,6月25日播期与6月15日播期的单位面积穗数无显著差异,但7月5日播期的单位面积穗数显著高于6月15日播期,这是其双穗率显著高于6月15日播期所致;3个播期的穗粒数随着播期

的推迟呈逐渐下降趋势,但是3个播期之间的单位面积总粒数无显著差异;而6月25日播期和7月5日播期的千粒重较6月15日播期均显著下降,进而导致其产量及收获指数显著低于对照处理,其中7月5日下降幅度最大。由此说明,灌浆期低温导致夏玉米产量的降低,主要是由于千粒重显著降低引起的。

表5 灌浆期低温对夏玉米产量构成和收获指数的影响

Table 5 Effects of low-temperature during grain filling stage on yield components and harvest index of summer maize

播期 Sowing date	穗数/ (穗/hm <sup>2</sup> ) Spike numbers	穗粒数/ (粒/穗) Grain number per spike	双穗率/% Double spike rate	单位面积总粒数/ (粒/m <sup>2</sup> ) Total grain number per unit area	千粒重/g Thousand kernels weight	产量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	收获指数 Harvest index
6月15日 June 15	66 120 b	481 a	0.4 b	3 179 a	320 a	9 735 a	0.49 a
6月25日 June 25	66 120 b	457 a	0.4 b	3 020 a	279 b	8 040 b	0.42 b
7月5日 July 5	75 285 a	405 b	14.0 a	3 048 a	229 c	6 705 c	0.41 b

## 3 结论与讨论

本研究通过生态因素和产量的相关性分析表明,夏玉米的产量与灌浆期和灌浆中后期的平均温度及有效积温呈现出显著的相关关系,李向岭等<sup>[8]</sup>研究也表明,生态因子中吐丝后日均温度和有效积温对玉米产量的影响较大。因此,灌浆期温度的高低对夏玉米的产量影响显著。

吐丝后具有足够的、合理的叶面积指数,有利于夏玉米创建足够的群体光合势,进而提高其叶片的

光合生产能力,生产出较多的光合产物,提高籽粒产量<sup>[9-11]</sup>。我国华北平原夏玉米种植区秋季气温下降快,并且常伴随着初霜冻日的到来,因此夏玉米灌浆期遭遇低温胁迫的风险增大,灌浆期低温会在一定程度上降低夏玉米叶片生理活性,加速叶片衰老,使其光合有效面积和光合生产能力也有所降低。本研究表明,玉米的叶面积指数、光合势、叶片相对叶绿素含量 SPAD 值、净光合速率( $P_n$ )及实际光化学效率( $F_v/F_m$ )在灌浆期均随着播期的推迟呈下降趋势,尤以灌浆中后期下降最显著,且播期越晚下降幅

度越显著。这很大程度上是因为晚播玉米(7月5日)在灌浆中后期(9月下旬—10月中旬)的温度较低(16℃),叶面积降低幅度增大,同时,灌浆期低温会导致叶绿体结构破损且数量减少<sup>[12]</sup>,叶绿素含量降低<sup>[13-14]</sup>,叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$ <sup>[15]</sup>降低,最终加快叶片衰老,光合作用减弱<sup>[16-17]</sup>,光合产物的生产量减少。

朱英华等<sup>[18]</sup>研究表明,夏季晚播玉米在籽粒建成、灌浆阶段气温较低,干物质积累量减少,积累速度变缓。本研究表明在灌浆期,3个播期的干物质积累量和群体生长率随着播期的推迟呈下降趋势,其中7月5日播期在灌浆中后期遭遇低温胁迫,叶面积降低,叶片光合能力显著下降,最终其干物质积累量和群体生长率较对照大幅度下降。另外,灌浆期低温对叶片、茎鞘和苞叶的转运量、转运率和对籽粒的贡献率均有一个明显的下降作用,且温度越低,下降作用越显著,这与段俊杰<sup>[7]</sup>的研究结果一致。可见随着播期的推迟,玉米在灌浆期内的积温减少,积温的不足导致叶面积指数降低,光合能力下降,不利于光合产物的积累和转运,籽粒不能正常成熟,粒重大幅度降低。

张毅等<sup>[19]</sup>通过模拟低温逆境条件得出灌浆期低温引起玉米产量降低这一结论,与本研究的结论一致。本研究结果表明,3个播期的玉米产量随播期的推迟而显著降低,其中7月5日播期下降幅度最大,其灌浆期日平均温度每下降1℃,每公顷玉米产量下降739.5 kg。从产量构成因子看,6月25日播期的公顷穗数和6月15日播期的公顷穗数无显著差异,7月5日播期的公顷穗数虽显著高于6月15日播期,但3个播期的单位面积总粒数之间无显著差异,而千粒重差异显著,因此,夏玉米产量降低主要是由千粒重降低引起的。由此可见,随播期的推迟,灌浆期更容易遭遇低温逆境,使得千粒重降低,最终造成玉米产量降低。

综上所述,灌浆期低温会加速植株衰老,叶面积指数下降,叶片光合生理功能受到限制,造成“源”的不足,同时减缓光合物质由叶片向籽粒的转运过程,从而影响籽粒的灌浆,致使千粒重降低,最终造成产量降低。因此,在华北平原夏玉米种植区,生产上应适期早播,以充分利用生育后期积温资源,同时减弱灌浆期低温对夏玉米生育后期的不利影响,尽量延长灌浆天数,以保证玉米灌浆期籽粒的灌浆进程正常进行,从而提高粒重,最终实现高产稳产的目标。

## 参 考 文 献

- [1] 李宪光,任广路,刘强. 华北地区秋季气温的时空变化特征[J]. 气象与环境科学,2011(S1):51-56  
Li X G, Ren G L, Liu Q. Spatial and temporal variation of autumn temperature in North China[J]. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2011(S1):51-56 (in Chinese)
- [2] 王治世. 低温影响夏玉米籽粒灌浆的生理机制[D]. 北京:中国农业大学,2014  
Wang Z S. Physiological mechanism for the effects of low temperature on summer maize grain filling[D]. Beijing: China Agriculture University, 2014 (in Chinese)
- [3] 宋立泉. 低温对玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学,1997,5(3):58-60  
Song L Q. Effects of low temperature on maize growth and development[J]. *Journal of Maize Sciences*, 1997,5(3):58-60 (in Chinese)
- [4] 王春乙. 东北地区农作物低温冷害研究[M]. 北京:气象出版社,2008:1-15  
Wang C Y. *Studies on Chilling Injury of Crops in Northeast China*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008:1-15 (in Chinese)
- [5] Setter T L, Flannigan B A. Sugar and starch redistribution in maize in response to shade and ear temperature treatment[J]. *Crop Science*, 1986,26(3):575-579
- [6] 陈国清,沈鑫,蔡雪梅,陆卫平,陆大雷. 灌浆结实期高温胁迫对糯玉米籽粒产量和叶片光合特性的影响[J]. 玉米科学,2014,22(2):104-108  
Chen G Q, Shen X, Cai X M, Lu W P, Lu D L. Effects of heat stress during grain filling on grain yield and leaf photosynthetic properties of waxy maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014,22(2):104-108 (in Chinese)
- [7] 段俊杰. 黑龙江地区玉米籽粒库性能及物质生产特征[D]. 北京:中国农业大学,2010  
Duan J J. Study on kernel sink capacity and characteristics of dry matter productivity in maize in Heilonggang District[D]. Beijing: China Agriculture University, 2010 (in Chinese)
- [8] 李向岭,李从峰,侯玉虹,侯海鹏,葛均筑,赵明. 不同播期夏玉米产量性能动态指标及其生态效应[J]. 中国农业科学,2012,45(6):1074-1083  
Li X L, Li C F, Hou Y H, Hou H P, Ge J Z, Zhao M. Dynamic characteristics of summer maize yield performance in different planting dates and its effect of ecological factors[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012,45(6):1074-1083 (in Chinese)
- [9] 沈秀瑛,戴俊英,胡安畅,顾慰连,郑波. 玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究[J]. 作物学报,1993,5(3):246-252  
Shen X Y, Dai J Y, Hu A C, Gu W L, Zheng B. Studies on relationship among character of canopy light interception and yield in maize populations (*Zea mays* L)[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1993,5(3):246-252 (in Chinese)

- [10] 马国胜,薛吉全,路海东,张仁和,郜书静,任建宏. 播种时期与密度对关中灌区夏玉米群体生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1247-1253  
Ma G S, Xue J Q, Lu H D, Zhang R H, Tai S J, Ren J H. Effects of planting date and density on population physiological indices of summer corn (*Zea mays* L) in central Shaanxi irrigation area[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1247-1253 (in Chinese)
- [11] 王铁固,赵新亮,张怀胜,马娟,陈士林. 种植密度对玉米叶部性状及灌浆速率的影响[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(3): 75-78  
Wang T G, Zhao X L, Zhang H S, Ma J, Chen S L. Effects of planting density on leaf traits and filling velocity of maize[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2012, 40(3): 75-78 (in Chinese)
- [12] KUTÍK J, HOLÁ D, KOČOVÁ M, Rothova O, Haisel D, Wilhelmova N, Ticha I. Ultrastructure and dimensions of chloroplasts in leaves of three maize (*Zea mays* L) inbred lines and their F1 hybrids grown under moderate chilling stress[J]. *Photosynthetica*, 2004, 42(3): 447-455
- [13] Takác T. The relationship of antioxidant enzymes and some physiological parameters in maize during chilling[J]. *Plant Soil and Environment*, 2004, 50(1): 27-32
- [14] Wang Y, Zhou M, Gong X L, Liu C, Hong M M, Wang L, Hong F S. Influence of lanthanides on the antioxidative defense system in maize seedlings under cold stress[J]. *Biological Trace Element Research*, 2011, 142(3): 819-830
- [15] Koscielniak J, Biesaga-Koscielniak J. Effects of exposure to short periods of suboptimal temperature during chill (5 °C) on gas exchange and chlorophyll fluorescence in maize seedlings (*Zea mays* L)[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1999, 183(4): 231-241
- [16] 艾佳,温万里,杨德光,张倩,冯冬冬,王洪宇. 低温胁迫及恢复对玉米光合特性的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(5): 92-97  
Ai J, Wen W L, Yang D G, Zhang Q, Feng D D, Wang H Y. Effects of low temperature and recovery on photosynthetic characteristics of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(5): 92-97 (in Chinese)
- [17] Hund A, Frascaroli E, Leipner J, Jompuk C, Stamp P, Fracheboud Y. Cold tolerance of the photo-synthetic apparatus: Pleiotropic relationship between photosynthetic performance and specific leaf area of maize seedlings[J]. *Molecular Breeding*, 2005, 16(4): 321-331
- [18] 朱英华. 不同播期对玉米品种生育进程和产量潜力的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2003  
Zhu Y H. Studies on the effect of different sowing date to maize growth and yield potential [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013 (in Chinese)
- [19] 张毅,顾慰连,戴俊英. 低温对玉米光合作用、超氧化物歧化酶活性和籽粒产量的影响[J]. 作物学报, 1992, 18(5): 397-400  
Zhang Y, Gu W L, Dai J Y. Effect of low temperature on photosynthesis activity of superoxide dismutase and kernel yield of maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1992, 18(5): 397-400 (in Chinese)

责任编辑: 袁文业