

# 低温胁迫对玉米光合特性及粒重的影响

郭春明<sup>1</sup>, 李建平<sup>1</sup>, 任景全<sup>1</sup>, 曲思邈<sup>1</sup>, 王冬妮<sup>1</sup>, 耿艳秋<sup>2</sup>, 徐晨<sup>2</sup>, 姚渝丽<sup>2,3\*</sup>

(1. 吉林省气象科学研究所, 长春 130062; 2. 吉林农业大学农学院, 长春 130118; 3. 内蒙古新天元防灾减灾研究院, 呼和浩特 010000)

**摘要:**为研究低温胁迫对玉米光合特性以及粒重的影响,以郑单958为材料,利用人工气候室模拟自然低温,研究不同温度(13℃、15℃、17℃)、不同处理时间(1 d、2 d、3 d、4 d、5 d)下玉米抽雄期、开花期、吐丝期、灌浆期光合特性及粒重变化。结果表明:玉米生育后期低温降低光合速率(Pn)和气孔导度(Gs),胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)提高;抽雄期、吐丝期、灌浆期蒸腾速率(Tr)受短期(1~2 d)低温影响较大;抽雄期、开花期、吐丝期玉米光合特性分别受1 d、4 d、5 d低温影响最大;灌浆期低温对粒重影响最大,平均下降37%,吐丝期次之,平均下降6%,抽雄期、开花期无显著影响。

**关键词:**玉米;低温胁迫;光合特性;粒重

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:1003-8701(2017)04-0005-06

## Effect of Low Temperature Stress on Photosynthetic Characteristics and Grain Weight of Maize

GUO Chunming<sup>1</sup>, LI Jianping<sup>1</sup>, REN Jingquan<sup>1</sup>, QU Simiao<sup>1</sup>, WANG Dongni<sup>1</sup>, GENG Yanqiu<sup>2</sup>, XU Chen<sup>2</sup>, YAO Yuli<sup>2,3\*</sup>

(1. Institute of Meteorological Science of Jilin Province, Changchun 130062; 2. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 3. Institute of Disaster Prevention and Mitigation of Inner Mongolia, Hohhot 010000, China)

**Abstract:** Effect of low temperature stress on photosynthetic characteristics and total output weight of maize was studied in the paper. Low temperature treatments were carried out in the artificial climate chamber using maize variety Zhengdan958 as experimental material. Under different low temperatures (13℃, 15℃ and 17℃) and different treatment times (1 d, 2 d, 3 d, 4 d and 5 d), the changes of photosynthetic characteristics and grain weights were evaluated at four developmental stages such as tasseling, silking, pollination and grain-filling. The results showed that photosynthetic rate (Pn) and stomatal conductance (Gs) were decreased, intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci) was increased under low temperature conditions at reproductive stage. Transpiration rate (Tr) was severely affected by the short-term (1-2 d) low temperature at tasseling, silking and filling stages. Photosynthetic characteristics were affected mostly by low temperature treatment times of 1 d, 4 d and 5 d. Grain weights were significantly affected by low temperature at grain filling stage for an average decline of 37%, following by low temperature at the silking stage for an average decline of 6%. However, no decline at the male and the flowering stage.

**Key words:** Maize; Low temperature stress; Photosynthetic characteristics; Seed weight

我国是世界上主要玉米生产国之一,播种面积和总产量均居世界第二位。东北地区是我国玉米重要生产基地<sup>[1]</sup>。低温冷害是东北地区主要农业气象灾害之一,是导致玉米产量不稳、品质不

高的主要原因。因此研究低温冷害对玉米生长发育和产量的影响,阐明其影响机制,提出有效的解决方法具有重要意义。

低温对玉米生长发育的影响分为延迟型和障碍型两种,前者主要发生在营养生长期,后者主要发生在生殖生长期<sup>[2-3]</sup>。光合作用是植物最基本的生命活动,植物干重90%来自光合作用,对低温敏感<sup>[4-6]</sup>。随着低温胁迫时间的延长,玉米叶片光合作用的有效叶面积减小,光合作用受到抑

收稿日期:2017-04-03

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206018)

作者简介:郭春明(1962-),男,高级工程师,从事农业气象服务及相关科研工作。

通讯作者:姚渝丽,女,教授,E-mail:yaoyuli156@sina.com

制<sup>[7]</sup>。Fryer等<sup>[8]</sup>研究表明低温胁迫下玉米叶片中SOD、CAT、POD等活性降低而MDA的含量明显升高。郑洪建等<sup>[9]</sup>研究表明玉米子粒灌浆到成熟阶段的适宜日平均温度为22~24℃,当日均温低于15~16℃时,玉米的生理代谢会发生紊乱,灌浆过程基本停滞。关贤交等<sup>[10]</sup>研究发现在玉米抽雄吐丝期,低温冷害严重抑制玉米的生长发育,其中,日平均气温低于17℃,不利于穗分化;日平均气温低于18℃,开花期授粉不良。宋立泉<sup>[11]</sup>研究发现玉米的灌浆期遇低温冷害,玉米叶片光合速率降低,子粒的灌浆速度下降。

低温冷害对玉米粒重的影响主要是通过影响玉米生育进程,导致玉米生育速度减慢,灌浆迟缓或停滞等。生育后期的低温往往使玉米不能正常完成灌浆过程而影响百粒重<sup>[11]</sup>。低温强度越大、持续时间越长,玉米灌浆推后时间就越长,粒重降低越大,减产越严重。低温发生的时段与程度不同,导致玉米的减产率也不尽相同。

低温冷害对玉米生长发育和产量均有影响,前人研究主要集中在苗期低温对玉米幼苗的影响,有关玉米生育后期不同低温不同时间冷害对玉米光合特性及粒重影响的研究较少。本研究旨在研究玉米抽雄期至灌浆期受不同低温及不同天数低温处理对玉米光合特性及粒重的影响,进一步完善低温冷害对玉米生长发育及产量形成影响的研究,以期指导农业生产。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料和方法

供试玉米品种为郑单958。试验于2014年在吉林省农业科学院进行。采用盆栽方法,盆直径30 cm、高32 cm,每盆装土20 kg,共准备192个盆。室外播种,出苗后3~4叶期定苗,每盆只留健康植株1株,自然条件下生长,统一施肥和管理。

### 1.2 低温胁迫处理

在玉米的4个生育期(抽雄期、开花期、吐丝期、灌浆期)将试验材料分别放入模拟自然条件下温度日变化的人工气候室内进行低温处理,设定平均气温13℃、15℃和17℃低温处理3个水平,光周期和光强不变。于每个时期分别将15盆材料放入3个不同低温条件的人工气候室内,进行不同低温处理,低温处理时间设1、2、3、4、5 d 5个梯度,每个时间梯度以3个盆为试验单位,以室外自然环境条件下生长的植株作为对照。

### 1.3 光合指标的检测及粒重的测定

采用Li-6400便携式光合测定系统,于上午10:00~11:00每株测定3片最新完全展开叶(棒三叶)光合特性,测定光合指标包括:叶片净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)和胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)。此外,对雄穗和雌穗进行套袋处理(灌浆期除外),保证自交,挂牌标记,移至室外继续培养和观测,直至成熟,分组收获并考种。

将晾晒好的子粒充分混合后,调查百粒重,重复2次。两次重复相差不大于平均值的3%时,平均重即为百粒重。如差值超过3%,再取100粒称重,用最为接近的两个数值平均作为粒重(g)。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2013和SPSS22.0软件进行数据分析和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 低温胁迫对玉米光合特性的影响

低温对抽雄期光合特性的影响如图1所示,在3个处理温度下,处理1 d、3 d、4 d、5 d时玉米叶片Pn显著低于对照组,且处理1 d时降幅最大,降幅为75.0%~89.3%;玉米叶片Gs均显著低于对照组,降幅在25.0%~54.5%之间;低温处理1 d时玉米叶片Tr低于对照组,且在17℃显著降低,在低温处理2 d时,13℃、15℃玉米叶片Tr显著高于对照组,17℃时Tr小于对照组但不显著,在3 d、4 d、5 d时各处理Tr与对照组无显著差异;低温处理1 d、4 d时叶片Ci显著高于对照组,提高幅度分别在365.0%~501.3%、123.3%~206.3%,在2 d时,13℃、17℃低温下Ci显著低于对照组,在3 d、5 d时13℃、17℃低温下Ci则显著高于对照组,在2 d、3 d、5 d时15℃处理与对照组无显著差异。

低温对开花期光合特性的影响如图2所示,不同低温处理玉米叶片Pn均显著低于对照组,且5 d时降幅最大,为58.3%~78.3%;低温处理1 d、3 d、4 d、5 d时玉米叶片Gs显著低于对照组,在2 d时,15℃条件下Gs显著高于对照组,17℃条件下Gs显著低于对照组,13℃条件下与对照组无显著差异;不同低温处理玉米叶片Tr与对照组无显著差异;低温处理1 d、3 d、4 d、5 d时叶片Ci显著高于对照组,且5 d时提高幅度最大,为131.0%~191.0%,在2 d时,13℃条件下Ci显著低于对照组,降低幅度为89.3%,17℃条件下显著高于对照组,提高幅度为39.3%。

低温对吐丝期光合特性的影响如图3所示,

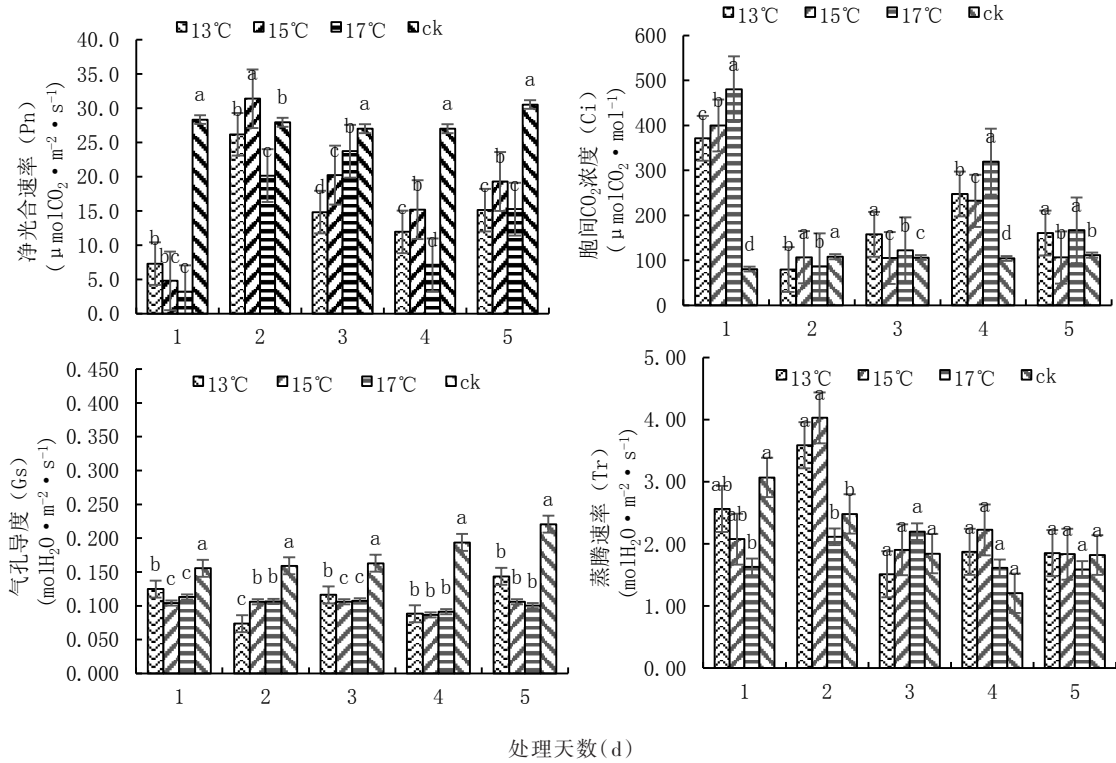


图1 抽雄期玉米光合特性

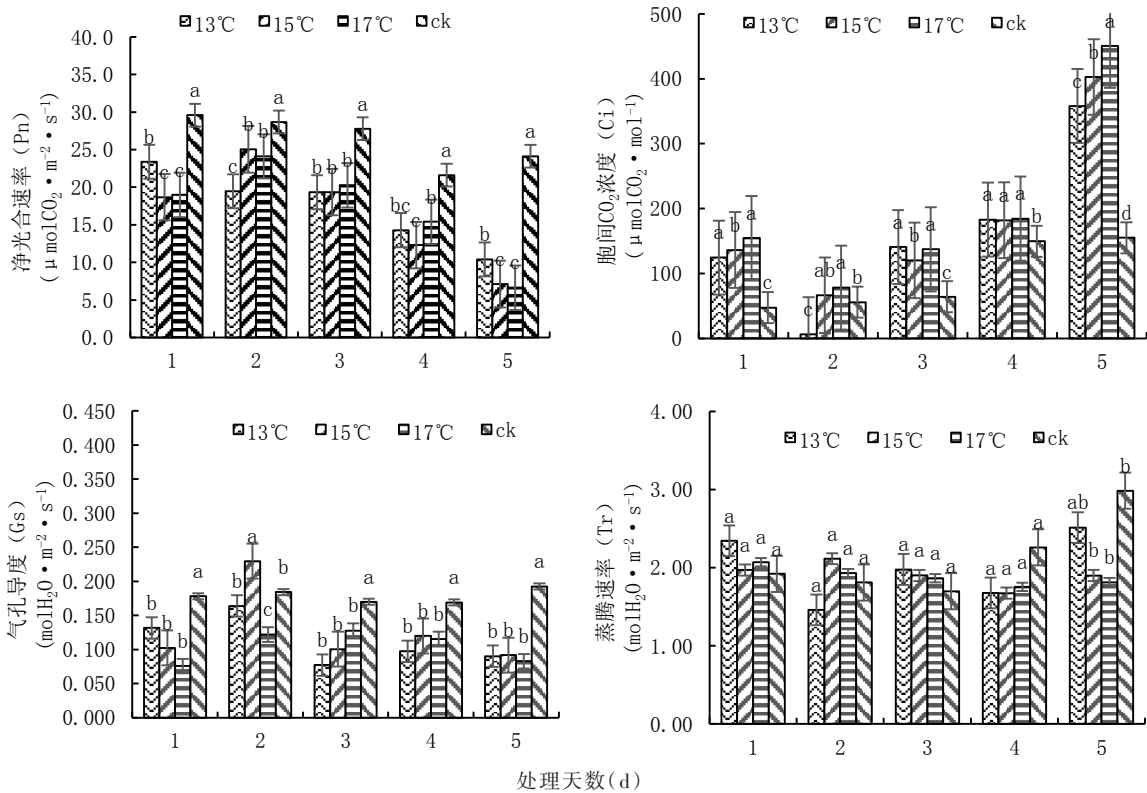


图2 开花期玉米光合特性

低温处理 1 d、2 d、3 d、4 d 时玉米叶片 Pn、Gs 显著低于对照组, 在 5 d 时, 15°C 条件下玉米叶片 Pn 显著高于对照组, Gs 与对照组无明显差异, 13°C、17°C 叶片 Pn、Gs 低于或显著低于对照组; 在 1 d、2

d、3 d、4 d 时叶片 Tr 低于或显著低于对照组, 5 d 时 15°C 条件下 Tr 高于对照组, 13°C、17°C 低于对照组; 13°C 低温下, 1 d、2 d、3 d 时叶片 Ci 均显著小于对照组, 但 4 d、5 d 时显著高于对照组, 15°C 低

温下,1 d、4 d时显著高于对照组,2 d、5 d时显著低于对照组,3 d时无显著差异。

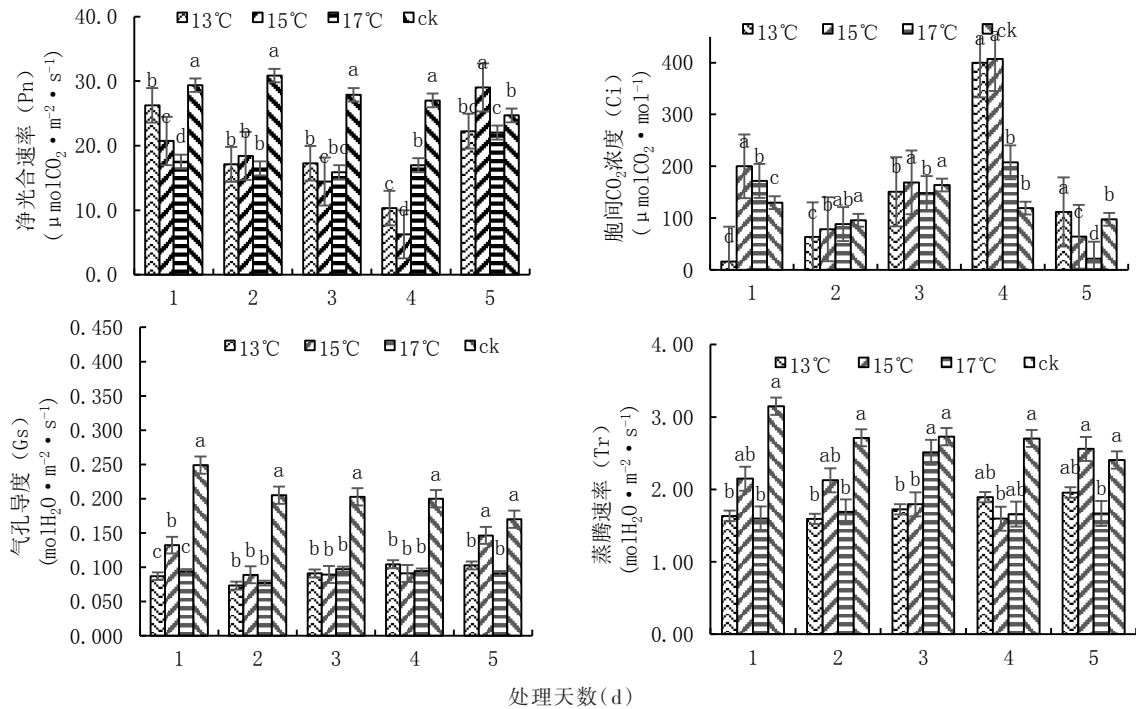


图3 吐丝期玉米光合特性

低温对灌浆期光合特性的影响如图4所示,低温处理1 d、2 d、3 d、4 d、5 d时玉米叶片Pn、Gs均显著低于对照组;在1 d时,13°C、17°C处理叶片Tr显著低于对照组,15°C处理Tr低于对照组,但无显著差异,在2 d时,15°C处理叶片Tr显著低于对照组,13°C、17°C处理Tr低于对照组,但无显著

差异,在3 d、4 d、5 d时各处理与对照组无显著差异,13°C处理,1 d、3 d、5 d时Ci值与对照相当,2 d、4 d时Ci值显著低于对照,15°C处理1 d、2 d、3 d时Ci值显著高于对照,4 d、5 d时Ci值与对照相当,17°C处理2 d、4 d、5 d时Ci值显著高于对照,3 d时Ci值显著低于对照,1 d时Ci值与对照相当。

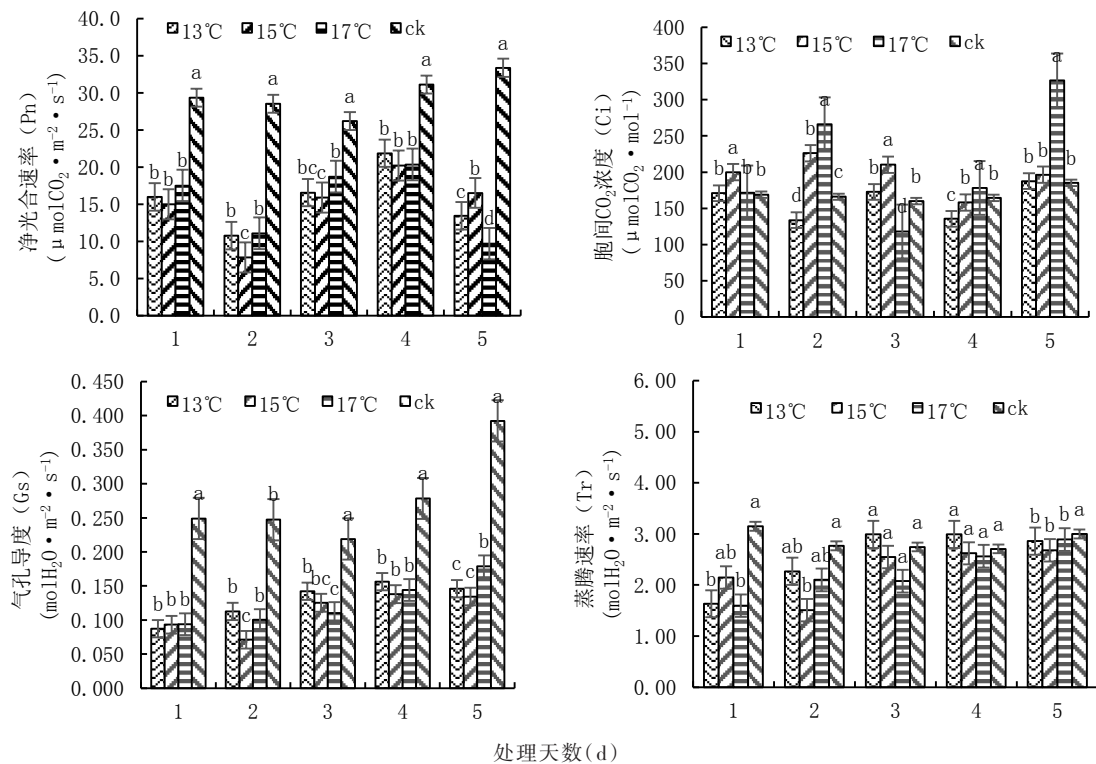


图4 灌浆期玉米光合特性

## 2.2 低温胁迫对玉米粒重的影响

调查3个温度与对照5 d下粒重,从图5可以看出,灌浆期13℃、15℃、17℃低温处理均显著降低玉米粒重,与对照相比分别下降了40%、34%、40%;吐丝期15℃低温处理显著降低玉米粒重,与对照相比下降了24%;13℃、17℃条件下玉米粒重较对照组分别下降5%、20%,但不显著;抽雄期、开花期玉米粒重受低温胁迫影响较小,与对照组相比无显著差异。

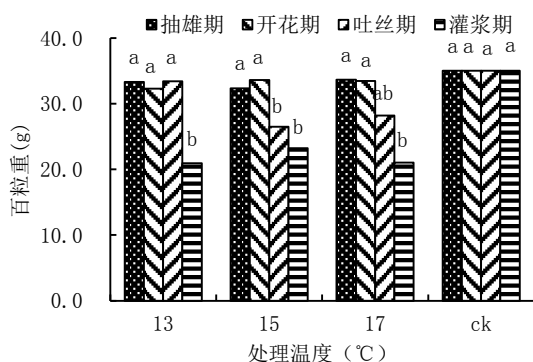


图5 低温胁迫对玉米百粒重的影响

## 3 讨论

我国东北地区玉米生育期低温冷害出现频率较大,一是夏季低温(凉夏)持续时间长,二是秋季降温早,出现早霜,植株生长受阻,子粒灌浆期缩短。低温对玉米生殖生长的影响主要发生在玉米生育后期。生育后期的低温引起玉米生殖生长受阻而引起减产<sup>[12]</sup>。一般情况下,低温胁迫明显降低植株叶片的Pn、Gs、Tr值<sup>[13]</sup>。Allen等<sup>[14]</sup>研究表明,低温胁迫下玉米Pn和Gs下降,而Ci上升。随低温持续时间的不同,引起Pn降低,其原因既有气孔因素也有非气孔因素<sup>[15]</sup>。

本研究中抽雄期低温处理显著降低玉米叶片Pn、Gs,提高Ci,且在1 d时Pn、Ci较对照组变化幅度均达到最大,Pn平均降幅为82.0%,Ci平均增幅为418%,叶片Tr在低温处理1 d时较对照明显下降,并在15℃、17℃低温下达到显著,在2 d时,叶片Tr在13℃、15℃显著高于对照组,在3 d、4 d、5 d时无显著影响,说明抽雄期玉米叶片光合特性受短期低温胁迫影响较大,可能原因是该时期玉米受低温胁迫初始阶段,植物叶片有关光合作用酶活性受到抑制,光合效率降低,随着低温时间延长,植物抗逆性增强,光合速率上升,但仍低于对照组。开花期低温处理对玉米光合特性影响与抽雄期基本相似,但在5 d时玉米叶片Pn、Ci较对照

组变化幅度均达到最大,Pn平均降幅达到66.7%,Ci平均提高幅度为160%,叶片Tr在低温处理5 d时较对照显著下降,并在15℃、17℃低温下达到显著水平,在1 d、2 d、3 d、4 d时无显著差异。说明开花期玉米叶片光合特性受持续低温冷害影响较大,这可能与开花期玉米营养生长基本停止,即将进入灌浆期,对温度比较敏感,持续低温引起可溶性蛋白质等保护性生理活性物质含量下降,植物的耐寒性下降有关<sup>[16-17]</sup>。吐丝期在低温处理4 d时玉米叶片Pn、Ci较对照变化幅度均达到最大,Pn平均降低58.7%,Ci平均提高180%,表明吐丝期低温持续4 d对玉米光合作用影响较大。1~4 d低温处理的叶片Tr、Gs小于或显著小于对照组。灌浆期各处理的叶片Pn、Gs均显著小于对照组,Ci与对照组之间差异随温度不同而表现不同,Tr与对照组之间的差异随低温处理天数的增加而减小,在3 d、4 d、5 d时各处理组与对照组间基本无差异,表明灌浆期短期低温对Tr影响较大。

张国民等<sup>[18]</sup>研究苗期低温对玉米生长发育的影响,发现低温导致玉米百粒重下降,6℃、10℃处理后,百粒重分别比对照下降9%和3.6%。灌浆期低温使玉米干物质积累速率减缓,即灌浆速度下降,这是由于玉米上部叶片光合能力降低而导致干物质积累速度降低<sup>[12]</sup>。张建平等<sup>[17]</sup>研究表明,当玉米在苗期、抽雄期和灌浆初期发生低温冷害时,以灌浆初期低温对玉米的影响为最大,导致玉米减产的幅度也最大,其次是抽雄期低温,影响最小的是苗期低温。本试验结果表明,抽雄期、开花期玉米粒重受低温胁迫影响较小,与对照组相比无显著差异,开花期粒重在15℃低温下较对照组显著下降。灌浆期低温玉米粒重显著降低,比对照组下降34%~40%,这可能与低温降低叶片光合作用从而减少干物质积累有关。

## 4 结论

玉米抽雄期至灌浆期低温对光合特性影响主要体现在Pn和Gs下降,Ci上升,抽雄期、吐丝期、灌浆期Tr受短期(1~2 d)低温影响较大;抽雄期、开花期、吐丝期玉米光合特性分别受1 d、4 d、5 d低温影响较大;玉米灌浆期低温使粒重显著降低,比对照组下降34%~40%,吐丝期次之,13℃、17℃条件下玉米粒重较对照组分别下降了3%、14%,抽雄期、开花期低温对粒重无显著影响。

## 参考文献:

- [ 1 ] 郭庆海. 中国玉米主产区的演变与发展[J]. 玉米科学, 2010, 18(1): 139-145.
- [ 2 ] 王绍武, 马树庆, 陈莉, 等. 低温冷害[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 30.
- [ 3 ] 龚金龙, 张洪程, 胡雅杰, 等. 灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 482-491.
- [ 4 ] 马延华, 王庆祥, 陈绍江. 玉米耐寒性生理生化机理与分子遗传研究进展[J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 76-81, 86.
- [ 5 ] Chassot A, Stamp P, Richner W. Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement[J]. Plant and Soil, 2001, 231(1): 123-135.
- [ 6 ] Bliska A, Sowiński P. Closure of plasmodesmata in maize (*Zea mays*) at low temperature: a new mechanism for inhibition of photosynthesis[J]. Annals of Botany, 2010, 106: 675-686.
- [ 7 ] 徐田军, 董志强, 兰宏亮, 等. 低温胁迫下聚糠萘合剂对玉米幼苗光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(2): 352-359.
- [ 8 ] Fryer M J, Andrews J R, Oxborough K. Relationship between CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic electron transport, and active O<sub>2</sub> metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature[J]. Plant Physiology, 1998, 116: 571 - 580.
- [ 9 ] 郑洪建, 董树亭. 生态因素与玉米产量关系的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2000, 31(3): 315-319.
- [ 10 ] 关贤交, 欧阳西荣. 玉米低温冷害研究进展[J]. 作物研究, 2004(5): 353-357.
- [ 11 ] 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.
- [ 12 ] 孟英, 李明, 王连敏, 等. 低温冷害对玉米生长影响及相关研究[J]. 黑龙江农业科学, 2009(4): 150-153.
- [ 13 ] 杨华庚, 林位夫. 低温胁迫对油棕幼苗光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 506-509.
- [ 14 ] Allen D J, Ort D R. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm climate[J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(1): 36-42.
- [ 15 ] 张志刚, 尚庆茂. 低温、弱光及盐胁迫下辣椒叶片的光合特性[J]. 中国农业科学, 2010, 43(1): 123-131.
- [ 16 ] 李庆民, 朱跃斌. 低温冷害对玉米生理过程的影响[J]. 民营科技, 2011(3): 123.
- [ 17 ] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等. 不同发育期低温冷害对玉米灌浆和产量影响模拟[J]. 中国农学通报, 2012, 28(36): 176-182.
- [ 18 ] 张国民, 王连敏, 王立志. 苗期低温对玉米叶绿素含量及生长发育的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2000(1): 10-12.

(责任编辑:王昱)