

# 苗期低温胁迫对玉米生长发育及产量的影响

于文颖<sup>1</sup>,冯锐<sup>1</sup>,纪瑞鹏<sup>1</sup>,王宏博<sup>1</sup>,朱永宁<sup>2</sup>,车宇胜<sup>2</sup>,张玉书<sup>1</sup>

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161)

**摘 要:**通过对玉米苗期进行不同低温胁迫试验,研究两个玉米品种(丹玉 39、丹玉 42)对苗期低温的响应。结果表明,苗期低温胁迫后,两个玉米品种的生长发育及产量存在明显的差异:(1)三叶期—七叶期,低温胁迫处理阶段玉米生长均受到抑制,对丹玉 39 的影响大于丹玉 42;(2)拔节期—乳熟期,经过苗期低温胁迫后,丹玉 39 后期叶面积逐渐接近并最终在乳熟期达到对照正常水平,而丹玉 42 的后期恢复能力较差;(3)丹玉 42 低温胁迫后呈现苗期天数增加、穗期天数减少的趋势,丹玉 39 无明显变化;(4)成熟后的丹玉 42 果穗大小、茎秆重、籽粒重和百粒重均小于对照,生物量及产量显著下降,而丹玉 39 的果穗性状、生物量及产量受影响较小。

**关键词:** 低温胁迫;玉米;生长发育;产量

**中图分类号:** S162.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0220-07

## Effects of low temperature stress in seedling stage on growth development and yield for maize

YU Wen-ying<sup>1</sup>, FENG Rui<sup>1</sup>, JI Rui-peng<sup>1</sup>, WANG Hong-bo<sup>1</sup>, ZHU Yong-ning<sup>2</sup>, CHE Yu-sheng<sup>2</sup>, ZHANG Yu-shu<sup>1</sup>

(1. Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang, Liaoning 110016, China;

2. College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

**Abstract:** Two maize cultivars (Danyu 39, Danyu 42) with low temperature stress in seedling stage were measured. This paper analyzed the growth characteristics and yield of different treatments and their response to low temperature stress in seedling stage. The results showed as follows. (1) From three leaf period to seven leaf period, the growth of leaf area was inhibited during the low temperature treatment periods, and the effects on Danyu 39 were greater than those of Danyu 42. (2) From the jointing stage to the milky stage, the leaf area of Danyu 39 increased gradually with growth and eventually reached the control levels in the milky stage. Compared with Danyu 39, the recovery ability of Danyu 42 was low during the whole growing stage. (3) There were effects of low temperature stress on Danyu 42, leading to longer seedling stage and shorter ear stage. But the effects on Danyu 39 were unclear. (4) Compared with the controls, the ear length, ear diameter, stem weight, grain weight and 100-seed weight of Danyu 42 in low temperature treatments were all decreased. However, the effects on Danyu 39 were small.

**Keywords:** low temperature stress; maize; growth; yield

玉米是我国第二大粮食作物,东北地区是我国玉米的主产区,也是国内最大的玉米商品粮生产基地,其种植面积占全国玉米种植面积的 1/3 以上,产量约占全国玉米总产量的 40%,东北地区的粮食生产直接关系到国家的粮食安全<sup>[1]</sup>。以低温冷害为主要农业气候灾害的我国东北地区,随着气候变暖,热量资源条件有所改善,但同时温度波动幅度大,极端事件频发<sup>[2]</sup>。生长季低温产生的冷害是对东北地区

农业生产影响最大的气象灾害,在 20 世纪 50 年代至 70 年代曾造成农作物严重减产<sup>[3]</sup>,一般每隔 3 ~ 5 年就有一次严重的低温冷害,如 1954、1957、1969、1972、1976 等年份,每年减产 15% 以上,玉米质量也大受影响<sup>[4]</sup>。IPCC 第四次评估报告指出气候变化对农业生产的影响是明显而广泛的,将使农业生产的不稳定性增加、种植结构和布局改变、局部地区的农业气象灾害事件加剧<sup>[5]</sup>。随着不同熟性玉米品种

收稿日期:2013-01-17  
基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2011IAE-CMA02);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106027);辽宁省科技厅重大农业攻关项目(2011210002)  
作者简介:于文颖(1978—),女,天津人,副研究员,博士,主要从事农业气象与遥感研究。E-mail: ywywyw20000@163.com。  
通信作者:张玉书(1963—),女,辽宁人,正研级高工,主要从事农业气象和遥感研究。E-mail: yushuzhang@126.com。

种植区域北移东延,严重低温冷害出现频率明显增加,种植风险也在增大<sup>[6]</sup>。低温影响玉米的生长发育,进而影响到产量和品质,不同品种玉米表现出的抗低温能力也有一定差异<sup>[7-8]</sup>。研究低温胁迫对玉米生长发育及产量的影响,可为玉米生育期适宜气象指标及低温冷害等农业气象灾害指标的确定提供依据。

近年来,关于低温对玉米光合特性、玉米生长发育及产量等方面的影响都有研究<sup>[9-17]</sup>。研究表明,玉米在苗期和灌浆期对低温的敏感性较大<sup>[18]</sup>;玉米播种至出苗期间低温会推迟出苗并影响出苗率,出苗至吐丝期受低温影响,营养生长受抑制,常表现为干物质积累减少、株高降低等<sup>[19]</sup>,营养生长期低温可延迟玉米抽雄期,生殖生长期低温会滞缓或终止玉米灌浆<sup>[20]</sup>。低温冷害对玉米生长发育的影响及其对生理机制的作用十分复杂,冷害状况和抗冷性又随时间、空间的不同而变化。因此,有关玉米低温冷害和抗低温机制还需进一步研究<sup>[8]</sup>。

为了明确低温胁迫处理对玉米生长发育和产量的影响,在辽宁省锦州市进行了不同品种玉米不同时期低温胁迫控制试验。研究选择辽宁地区典型的玉米品种,对玉米苗期进行低温处理后,研究玉米生长发育的变化特征及其对产量的影响,并对比玉米苗期不同品种及不同处理抗低温能力,对探索东北地区玉米适应气候变化的机制及过程提供依据,对于防御生育期冷害、促进玉米稳产高产具有重要意义。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验于2011年在辽宁省锦州市农业气象试验站进行(41°49' N, 121°12' E)。锦州市地处亚欧大陆东北部,属于温带半湿润季风型气候。该区域年平均气温为7.8℃~9.0℃,年极端最高气温为41.8℃,年极端最低气温为-31.3℃;年无霜期为144~180 d;年平均降水量为540~640 mm<sup>[19]</sup>。

### 1.2 试验方法

试验选择当地两个主栽品种,丹玉39和丹玉42,播种采用盆栽,2个品种共100盆,均4月28日播种。玉米出苗后,利用HP1500GS-B全智能人工气候植物箱,进行玉米苗期不同时间低温控制试验,同时设置对照。低温胁迫试验分别在三叶期和七叶期进行,三叶期和七叶期分别将每个品种搬18盆到

气候箱中,三天后每个品种搬出9盆,剩余9盆,5天后全部搬出。其余未参与低温胁迫的玉米作为对照。三叶期低温控制的日平均温度为6.1℃,控温期为3天和5天;七叶期低温控制的日平均温度为11.5℃,控温期为3天和5天。控温前后对作物进行发育期记录,测量整个植株干鲜重和叶面积,每个处理3个重复。

七叶期低温控制试验结束后,将所有盆栽幼苗移入大田,每隔15天对所有植株叶面积和株高测量,同时记录发育期,成熟后进行产量结构分析。大田内小区面积为40 m<sup>2</sup>,植株密度35 cm×60 cm,试验期间按当地农业生产的管理方式进行管理,保证水分充足,水分不构成作物生长的限制因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长季温度和热量条件分析

两个品种丹玉39和丹玉42均4月28日播种,9月底成熟。锦州地区2011年4—9月平均温度为20.1℃,略高于同时段多年平均值19.8℃(1980—2009年)。图1给出了锦州2011年和多年平均4—9月旬平均气温的变化情况,与多年平均值相比,4月下旬气温略低,5月下旬、8月中下旬气温略高,其余与多年平均基本持平。4月中旬到9月中旬平均气温均高于10℃,整个玉米生长季(4月末—9月末)总热量(≥10℃积温)为3 367℃,温度和热量条件均满足玉米正常生长需要。

### 2.2 玉米生长初期控温前后叶面积对比分析

低温胁迫试验在三叶期和七叶期进行,每个发育期2个低温胁迫处理,共4个处理,即三叶期(3天)、三叶期(5天)、七叶期(3天)、七叶期(5天)。比较两个品种(丹玉39、丹玉42)低温胁迫前后及其对照的叶面积变化情况,如图2所示。

两个品种(丹玉39和丹玉42)四个处理的叶面积增长率均小于其对照,四个处理的丹玉39与其对照的叶面积增长率差值范围为40%~100%,平均差值68%(图2A);四个处理的丹玉42与其对照的叶面积增长率差值范围20%~79%,平均差值51%,总体看来,丹玉42与其对照间的平均差值小于丹玉39(图2B)。

苗期低温胁迫后,两个品种四个处理的叶面积增长率均小于对照,低温胁迫抑制了玉米的生长,导致叶面积增长率小于正常生长(对照),其中对丹玉39的影响大于丹玉42。

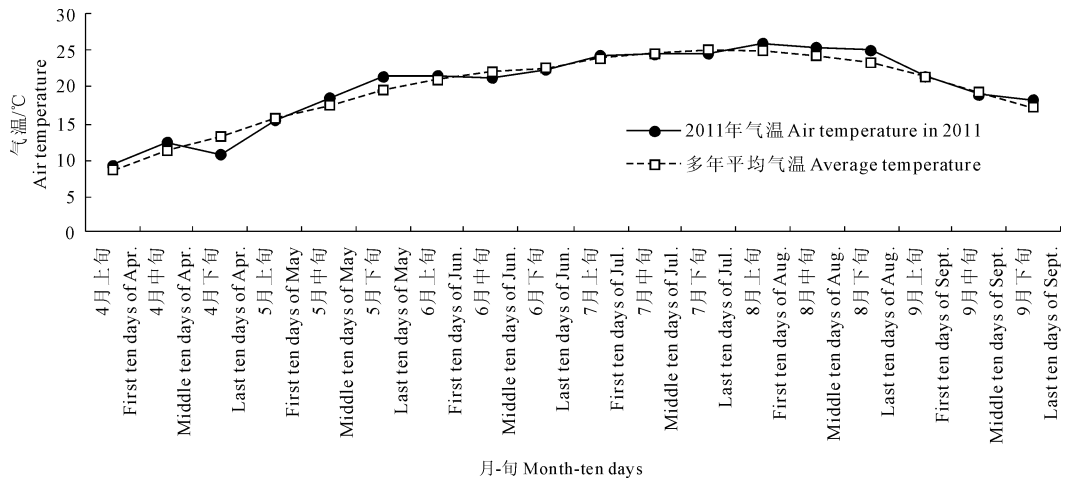


图 1 2011 年 4—9 月旬平均温度及多年平均值

Fig.1 Ten-day average temperature from April to September in 2011 and in 1980—2009

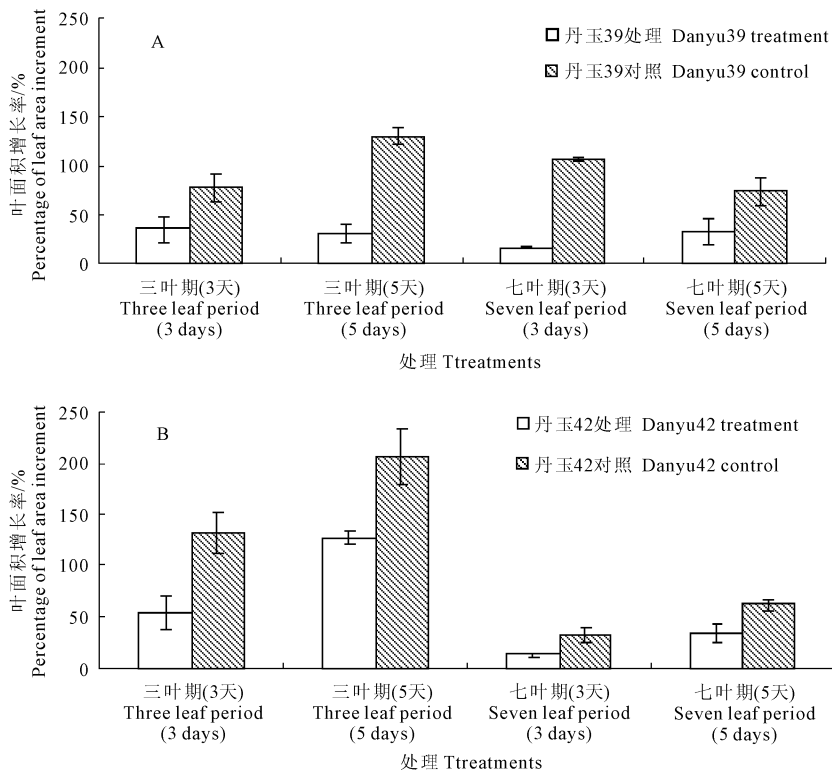


图 2 不同低温处理及对照下丹玉 39(A)和丹玉 42(B)玉米叶面积增长率比较

Fig.2 Percentage of leaf area increment in low temperature treatments and their controls in Danyu39 (A) and Danyu42 (B)

2.3 低温胁迫后玉米叶面积变化

图 3 反映了苗期低温胁迫后两个品种(丹玉 39 和丹玉 42)及其对照在拔节期—乳熟期的叶面积生长情况,其中 6 月 30 日和 7 月 14 日是拔节期,7 月 29 日是开花期—吐丝期,8 月 19 日是吐丝期—乳熟期。从图 3 可以看出,两个品种不同低温胁迫处理后玉米叶面积增长均低于对照,说明苗期低温胁迫会抑制玉米的后期生长。但是,经过苗期低温胁迫后,丹玉 39 后期叶面积逐渐接近并最终在乳熟期达

到对照正常水平,而丹玉 42 的后期恢复能力较差。进一步研究发现,丹玉 39 在四个低温处理水平间的叶面积动态变化规律不明显,表现为对照 > 七叶期(5 天) > 三叶期(5 天) > 七叶期(3 天) > 三叶期(3 天)(图 3A)。丹玉 42 的叶面积生长表现:对照 > 三叶期(3 天) > 七叶期(5 天) > 七叶期(3 天) > 三叶期(5 天)(图 3B)。其中,三叶期低温胁迫 5 天的玉米受影响程度最大,其次是七叶期受低温胁迫 3 天和 5 天,而在三叶期低温胁迫 3 天后玉米恢复最快。

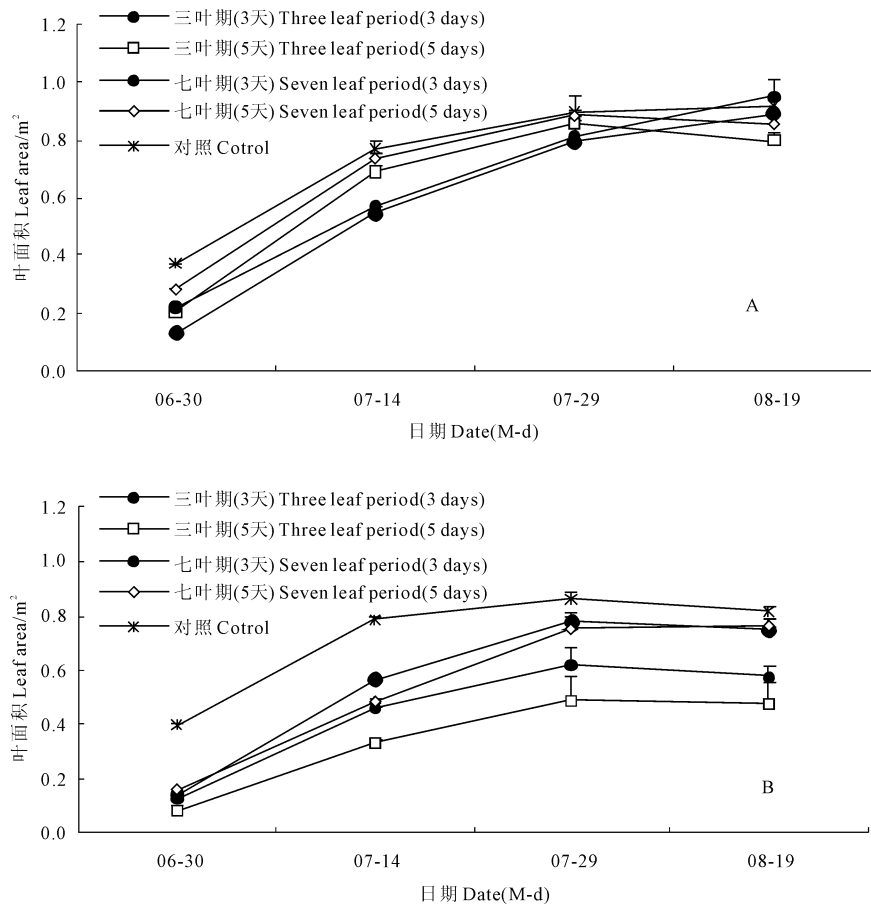


图 3 不同低温处理及对照下丹玉 39(A)和丹玉 42(B)玉米叶面积生长动态比较

Fig.3 Comparisons of maize leaf area among low temperature treatments and their controls in Danyu 39(A) and Danyu 42(B)

2.4 低温胁迫对玉米生育期的影响

图 4 为两个品种四个不同低温胁迫处理及其对照的玉米生育期天数变化情况。两个品种四个不同处理及其对照均在 4 月 28 日播种,全生育期天数在 151 ~ 153 天之间变动,差异不明显。苗期阶段,丹玉 39 除七叶期(3 天)和七叶期(5 天)无变化外,其他处理苗期天数比对照增加了 1 ~ 2 天;丹玉 42 除七叶期(3 天)无变化外,其他处理苗期天数比对照增加了 18 天。两个品种四个处理的苗期天数均大于或等于对照天数。穗期阶段,丹玉 39 七叶期(5 天)穗期天数较对照增加 2 天,七叶期(3 天)无变化,其他处理穗期天数比对照减少了 3 ~ 6 天;丹玉 42 穗期天数比对照减少 1 ~ 7 天。丹玉 39 与其对照相比无明显规律,丹玉 42 四个处理的穗期时间均小于对照,穗期天数缩短,即玉米营养生长阶段延长而生殖生长阶段缩短,可能会导致后期的玉米生物量和产量下降。

玉米营养生长阶段不充分,可能会导致后期的玉米生物量和产量下降。花粒期阶段,丹玉 39 三叶期(3 天)花粒期天数较对照增加 4 天,七叶期(5 天)

较对照减少 3 天,其他处理无变化;丹玉 42 三叶期(3 天)花粒期天数较对照增加 1 天,七叶期(3 天)无变化,其他处理较对照减少 1 天。两个品种四个处理的花粒期天数与对照相比无明显规律。比较两个品种四个处理各生育期天数变化发现,丹玉 42 在苗期和穗期受低温影响较大,低温胁迫后呈现苗期时间延长、穗期时间减少的趋势。

2.5 低温胁迫对玉米果穗性状的影响

两个品种四个低温胁迫处理及对照成熟后,对其果穗性状(果穗长、果穗粗、秃尖长)进行比较(图 5),丹玉 39 除三叶期(5 天)果穗长大于对照 0.85 cm 外,其他处理果穗长均小于对照 1.65 ~ 2.55 cm,丹玉 42 的四个不同低温处理果穗长均小于对照 0.92 ~ 3.23 cm(图 5A);丹玉 39 除七叶期(3 天)果穗粗小于对照 0.62 cm 外,其他处理果穗粗均大于对照 0.14 ~ 0.31 cm,丹玉 42 果穗粗均小于对照 0.14 ~ 1.44 cm(图 5B);丹玉 39 四个处理秃尖比均大于对照 0.01 ~ 0.03,丹玉 42 四个处理秃尖比均小于对照 0.02 ~ 0.03(图 5C)。

四个处理的丹玉 39 果穗长、粗与对照相比无明显

显规律,丹玉 42 果穗长、粗均小于对照,丹玉 39 的 42 的后期生长恢复能力较差,果穗大小少于对照,秃尖比略大于对照,丹玉 42 略小于对照。由于丹玉 导致丹玉 42 生物量和产量都受影响而降低。

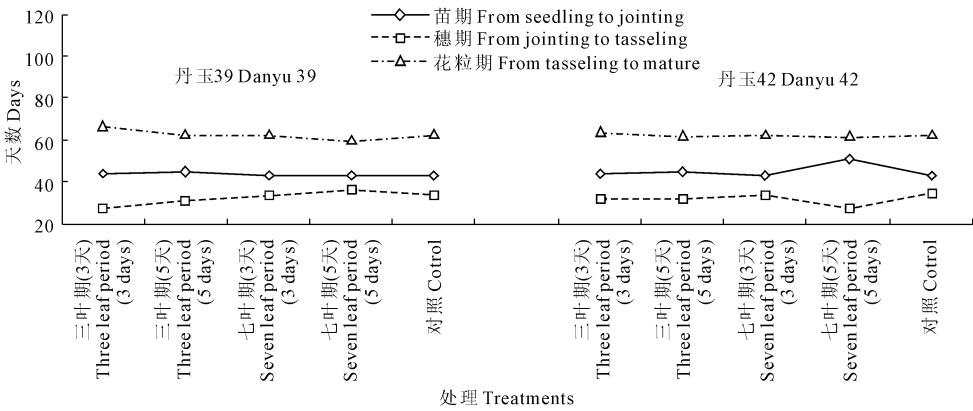


图 4 两个玉米品种不同处理生育期比较

Fig.4 Comparisons of maize growth periods in different treatments in Danyu 39 and Danyu 42

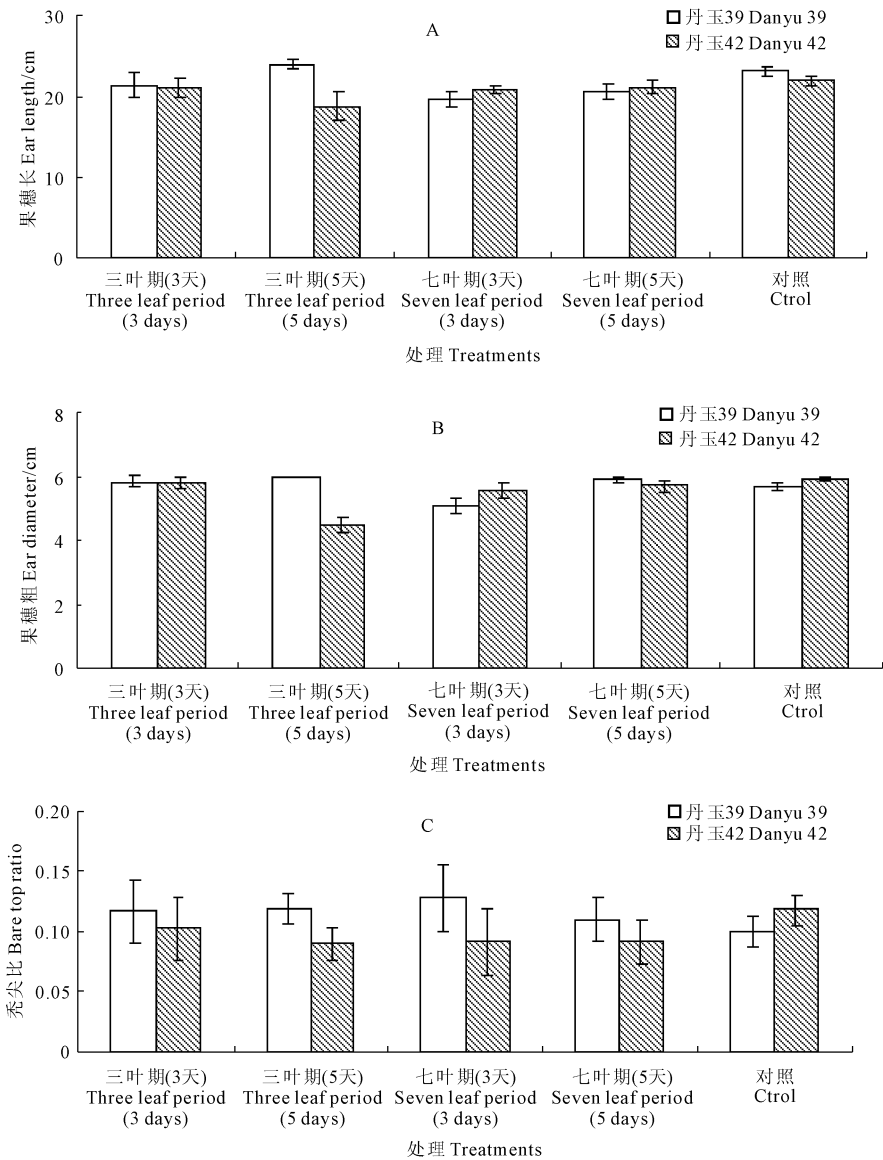


图 5 两个玉米品种不同处理果穗性状比较

Fig.5 Comparisons of maize ear traits in different temperature treatments in Danyu 39 and Danyu 42

2.6 低温胁迫对玉米生物量及产量的影响

图 6 分别给出了两个品种四个低温胁迫处理及其对照的株茎秆重、株籽粒重和百粒重情况。丹玉 39 除三叶期(3 天)的株茎秆重略低于对照 2.75 g 外,其他处理高于对照 52.3 ~ 70.8 g;丹玉 42 四个处理的株茎秆重低于对照 38.9 ~ 139.2 g;前期低温胁迫对两个品种的玉米株茎秆重影响程度不一,丹玉 39 未受影响,丹玉 42 受低温影响较大,株茎秆重显著减少(图 6A)。丹玉 39 除七叶期(5 天)的株籽粒重大于对照 14.5 g 外,其他处理均小于对照 2.9 ~ 41.1 g;丹玉 42 普遍低于对照 40.1 ~ 193.7 g;前

期低温胁迫对丹玉 39 的株籽粒重影响无规律,而丹玉 42 受低温影响较大,株籽粒重显著减少(图 6B)。丹玉 39 的百粒重普遍高于对照 3.7 ~ 4.8 g,丹玉 42 普遍低于对照 0.9 ~ 3.8 g;前期低温胁迫对丹玉 39 的百粒重没有影响,丹玉 42 百粒重减少,产量降低(图 6C)。

四个处理的丹玉 39 株茎秆重、株籽粒重和百粒重与对照相比无明显规律,受前期低温影响较小,丹玉 42 的株茎秆重、株籽粒重和百粒重与对照相比均显著减少,受前期低温影响,丹玉 42 的最终生物量与产量下降。

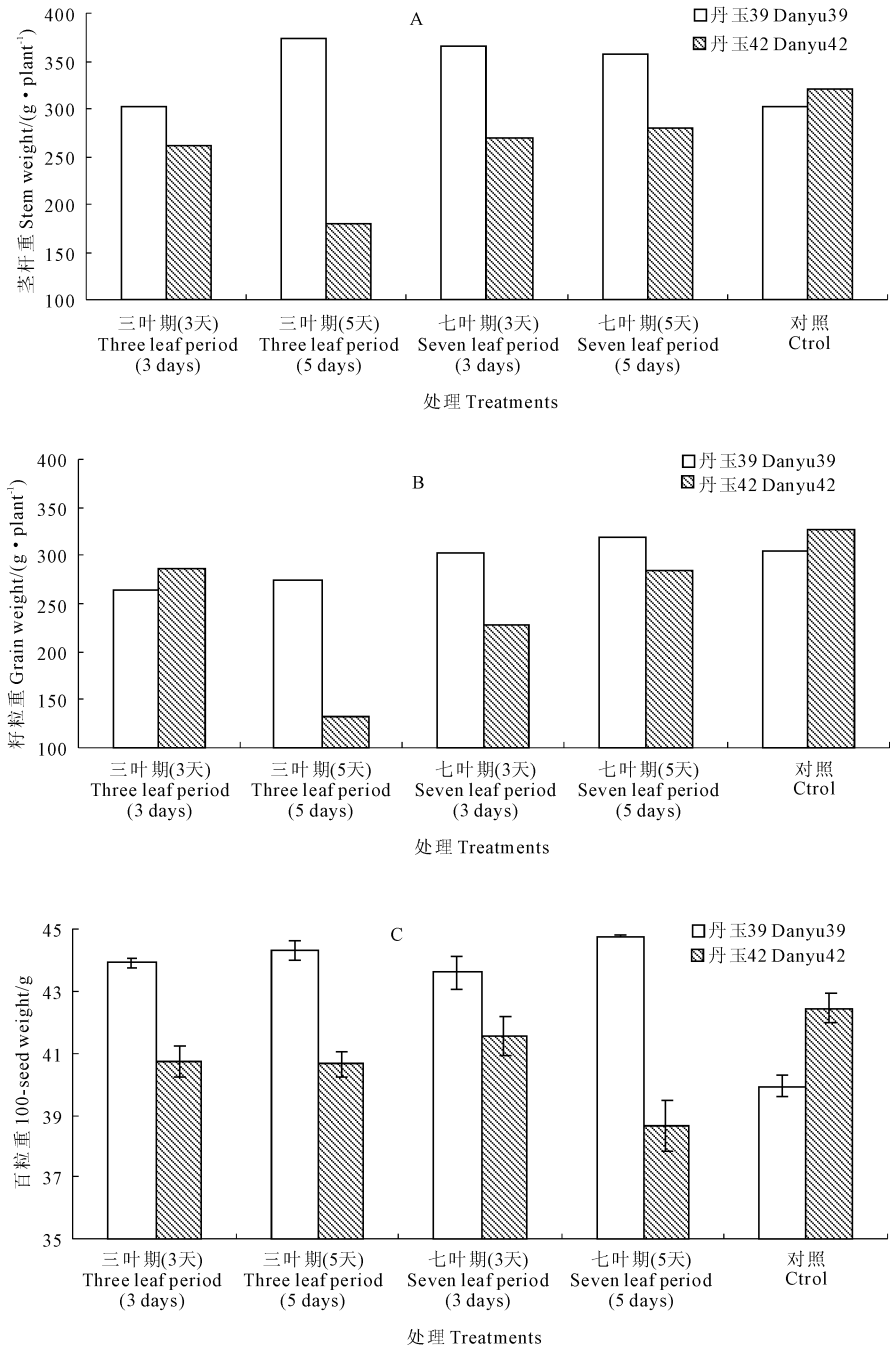


图 6 两个品种低温胁迫后玉米产量和生物量比较

Fig.6 Comparisons of maize yield and biomass in different temperature treatments in Danyu 39 and Danyu 42

3 结论与讨论

通过对两个玉米品种(丹玉 39 和丹玉 42)在三叶期和七叶期进行低温胁迫 3 天和 5 天,并与未进行低温胁迫的两个玉米品种进行对照,比较不同低温处理后玉米生长发育及其产量的变化情况,得到以下结论:

1) 控温前后叶面积指数的变化。

苗期低温胁迫后,两个品种四个处理的叶面积增长率均小于对照,低温胁迫抑制了玉米的生长,导致叶面积增长率小于正常生长(对照),其中对丹玉 39 的影响大于丹玉 42。

2) 控温处理后玉米叶面积生长状况比较。

经过苗期低温胁迫后,丹玉 39 后期叶面积逐渐接近并最终在乳熟期达到对照正常水平,而丹玉 42 的后期恢复能力较差。

3) 低温胁迫后玉米生育期变化。

比较两个品种四个处理各生育期天数变化发现,玉米营养生长阶段延长而生殖生长阶段缩短,导致后期的玉米生物量和产量下降。

4) 成熟后玉米果穗性状比较。

四个处理的丹玉 39 果穗长、粗与对照相比无明显规律,丹玉 42 果穗长、粗均小于对照,丹玉 39 的秃尖比略大于对照,丹玉 42 略小于对照。由于丹玉 42 的后期生长恢复能力较差,果穗大小与对照相比较小,丹玉 42 生物量和产量均受影响而降低。

5) 成熟后玉米生物量及产量的比较。

四个处理的丹玉 39 株茎秆重、株籽粒重和百粒重与对照相比无明显规律,受前期低温影响较小,丹玉 42 的株茎秆重、株籽粒重和百粒重与对照相比均显著减少,受前期低温影响,丹玉 42 的最终生物量与产量下降。

由于作物生育期内气象条件的变化以及玉米在生长发育阶段的前后连续性、互补性,在不同的光、温、水作用下,都有可能加快或延迟玉米的发育进程,从而减轻或加剧前期不利温度条件的影响程度<sup>[20]</sup>,因此,苗期的低温胁迫处理并不一定完全抑

制玉米生长发育和导致减产,还需结合不同的气象条件变化进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 高晓容,王春乙,张继权.气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响[J].生态学报,2012,32(7):2110-2118.

[2] 王春乙.东北地区农作物低温冷害研究[M].北京:气象出版社,2008:4-5.

[3] 方修琦,王媛,朱晓禧.气候变暖的适应行为与黑龙江省夏季低温冷害的变化[J].地理研究,2005,24(5):664-672.

[4] 马树庆,袁祝香,王琪.中国东北地区玉米低温冷害风险评估研究[J].自然灾害学报,2003,12(3):137-141.

[5] IPCC. Climate Change 2007: the Physical Science Basis, Summary for Policy Makers[R]. Paris: IPCC WGI Fourth Report, 2007:195-199.

[6] 赵俊芳,杨晓光,刘志娟.气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响[J].生态学报,2009,29(12):6544-6551.

[7] 曹宁,张玉斌,闫飞,等.低温胁迫对不同品种玉米苗期根系性状的影响[J].中国农学通报.2009,25(16):139-141.

[8] 胡海军,王志斌,陈凤玉,等.玉米冷害生理机制研究进展[J].玉米科学,2009,17(2):149-152.

[9] 王连敏,王立志,张国民,等.抗寒剂在玉米幼苗上应用效果的研究[J].玉米科学,1998,6(4):45-47.

[10] 王连敏,王立志.苗期低温对玉米体内脯氨酸、电导率及光合作用的影响[J].中国农业气象,1999,20(2):28-31.

[11] 孙孟梅,姜丽霞,韩俊杰,等.低温冷害对玉米含水率的影响[J].南京气象学院学报,1999,22(4):716-719.

[12] 王春乙,郭建平,马树庆,等.玉米抗低温助长剂田间试验研究[J].自然灾害学报,2001,10(1):80-85.

[13] 史占忠,贾显明,张敬涛,等.三江平原春玉米低温冷害发生规律及防御措施[J].黑龙江农业科学,2003,(2):7-10.

[14] 史占忠,谷口利策.三江平原玉米低温冷害发生规律[J].作物杂志,2003,(2):3-6.

[15] 郭建平,王春乙,马树庆,等.玉米育苗移栽防御低温冷害和春旱试验研究[J].自然灾害学,2003,12(1):116-120.

[16] 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.

[17] 张旭,赵明,李连禄,等.温度对玉米生理生化特性的影响[J].玉米科学,2002,10(3):60-62.

[18] 王小丽,裴玉贺,郭新梅,等.低温胁迫下玉米幼苗的几种生理生化指标的变化[J].植物生理学通讯,2009,45(5):487-490.

[19] 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.

[20] 马玉平,王石立,李维京.基于作物生长模型的玉米生殖期冷害致灾因子研究[J].作物学报,2011,37(9):1642-1649.

(上接第 155 页)

[15] 赵宏林,陈东辉.城市化与生态环境之关联耦合性分析——以上海市青浦区为例[J].中国人口·资源与环境,2008,18(6):174-177.

[16] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例[J].热带地理,1999,19:171-177.

[17] 吴文恒,牛叔文,郭晓东,等.中国人口与资源环境耦合的演进分析[J].自然资源学报,2006,21(6):853-861.

[18] 王继军.中尺度生态农业建设效益评价指标体系研究[J].水土保持研究,2000,7(3):243-247.

[19] Gould B W, Saupe W E, Klemme R M. Conservation tillage : the role of farm and operator characteristics and the perception of soil erosion[J]. Land Economics,1989,65(2):167-182.