

低温胁迫下春玉米生长参数及产量影响分析

冯锐¹, 武晋雯¹, 纪瑞鹏¹, 张玉书¹, 王连敏², 王宏博¹, 于文颖¹

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 以先玉335为材料,对玉米拔节期和大喇叭口期分别进行了15℃低温胁迫及对照试验。结果表明:低温胁迫导致植株株高、生物量及叶面积明显下降,并且拔节期受低温的影响要大于大喇叭口期;低温导致玉米蒸腾速率的降低及光合速率下降,光合速率下降10%左右,蒸腾速率下降58%~64%;不同发育期玉米光谱反射率对低温胁迫的响应基本相同,可见光波段,受低温胁迫的玉米冠层光谱反射率均有所增加,近红外波段(780~1350 nm),受低温胁迫的玉米冠层反射率降低;低温导致产量明显下降,拔节期减产率为34%,大喇叭口期减产率达到38%,大喇叭口期低温对产量的影响更为显著。

关键词: 低温胁迫;春玉米;生长参数;产量

中图分类号: S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0183-05

Analysis of growth parameters and yield of spring maize under chilling stress

FENG Rui¹, WU Jin-wen¹, JI Rui-peng¹, ZHANG Yu-shu¹,
WANG Lian-min², WANG Hong-bo¹, YU Wen-ying¹

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

2. Institute of Crop Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China)

Abstract: Using Xianyu335 as material, the experiment was carried out to analyze the influence of chilling stress (15℃) at jointing stage and bell-mouthed stage on growth parameters and yield of spring maize. The results showed that chilling stress led to the significant reduction of plant height, plant biomass and leaf area, and the influence of chilling stress at jointing stage was more serious than that at bell-mouthed stage. The photosynthetic rate and transpiration rate decreased significantly under chilling stress, by around 10% and 58%~64% respectively. The response characteristics of canopy spectral reflectance to chilling stress at different developmental stages were the same on the whole. In visible band, the canopy spectral reflectance under chilling stress was increased, while in near-infrared band (780~1350 nm), it was decreased obviously. The yield of spring maize under chilling stress at jointing stage was reduced by 34% and that at bell-mouthed stage was reduced by 38%. Therefore, the influence of chilling stress at bell-mouthed stage was more remarkable than that at jointing stage.

Keywords: chilling stress; spring maize; growth parameters; yield

玉米是全世界总产量最高的粮食作物,是重要的粮食作物、饲料和工业生产原料的来源^[1]。中国是玉米第二大生产国,随着社会发展,玉米在中国粮食作物中比重越来越大^[2],是中国粮食增产的主力军,种植面积在2009年超过水稻,成为中国种植面积最大的作物,在稳定粮食安全方面的作用愈来愈明显^[3]。近年来,在全球气候变暖为主要特征的大背景下,极端天气气候事件愈发频繁^[4],尤其是晚熟品种的大范围北移东扩,越区种植,导致低温冷害的影响仍然比较严重。对低温冷害的研究,国内外的

研究成果较多,王春乙等^[5]研究了低温与干旱并发性灾害的指标和对策问题;刘布春等^[6]通过改进东北区域动力模型,模拟了12站40年玉米生长发育过程,分析了历史低温冷害年及减产情况;高素华^[7]利用玉米冷害指标监测玉米延迟型低温冷害;马树庆等^[8]对玉米低温冷害发生及损失程度动态进行了预测和评估。

因此,通过低温胁迫试验,研究低温胁迫下玉米生长参数及产量的变化,为玉米关键发育期的低温冷害监测指标确定提供依据,对保持粮食作物稳产、

收稿日期:2012-05-17

基金项目:科技部公益性行业科研专项(GYHY201106027);科技部农业科技成果转化资金项目(2011GB24160001)和辽宁省“十二五”科学技术重大项目(2011210002)

作者简介:冯锐(1972—),女,辽宁凌海人,副研究员,硕士,研究方向为卫星遥感农业气象应用。E-mail:fengrui_k@126.com。

高产有着十分重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

2011 年 4—10 月份在黑龙江省农业科学院耕作栽培所人工气候室中,进行玉米低温冷害胁迫试验。试验场位于哈尔滨市西南,哈尔滨属中温带大陆性季风气候,冬长夏短,全年平均降水量 569.1 mm,降水主要集中在 6—9 月,夏季占全年降水量的 60%^[9]。

1.2 试验设计及田间管理

在玉米拔节期(6 月 27 日—7 月 4 日)、大喇叭口期(7 月 12 日—7 月 19 日)分别进行控温试验,供试品种为先玉 335,处理温度为 15℃,处理时间为 7

d,以室外温度为对照。玉米进入胁迫试验发育期时,移入控制室进行低温处理,第 8 天晚,将控制处理的玉米搬到室外,自然状态下直到成熟。

试验用盆直径 40 cm,装土 20 kg·盆⁻¹,盆栽用土取自上年水稻苗床地,水稻插秧后种植大豆进行匀地,土壤有机质含量较高,土样基础肥力见表 1。施二铵 4.5 g·盆⁻¹;5 月 5 日播种,5 月 18 日齐苗,5 月 27 日定株(三叶一心),6 月 15 日追肥尿素 3 g·盆⁻¹,7 月 27 日追肥尿素 3 g·盆⁻¹;灌水按盆栽方式正常盆栽管理,以水分不构成限制玉米生长为标准。在大喇叭口期每盆培土 2 kg,防止风大引发倒伏。为避免对照与处理之间互相传粉,在玉米抽雄期把不同处理玉米植株进行人工隔离,避免了花粉的互相传播。

表 1 盆栽试验用土的基础肥力状况

Table 1 The soil basic fertility of pot experiment

速效氮 Available N /(mg·100g ⁻¹)	有效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	有效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	总氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	总磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	总钾 Total K /(g·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	pH
98.81	85.4	140	0.193	0.101	1.88	55.3	6.06

1.3 观测项目及方法

叶面积观测:叶面积采用打孔方法测量单株叶面积,取样 5 株,通过干重进行换算,打孔器面积为 1.21 cm²,7 月 4 日和 7 月 19 日两次观测。

干鲜重观测:采用整体取样,烘干前、后称重。烘干方法为 105℃杀青 1 h 后在 80℃下烘干至恒重,7 月 4 日和 7 月 19 日两次观测。

光合作用观测:光合、气孔等采用英国产 LCpro + 光合分析仪测量,测量叶片与叶绿素观测相同叶片,7 月 4 日、7 月 19 日两次观测。

光谱测量:玉米拔节期(低温处理第 4 天开始到

控温结束后 4 d)、大喇叭口期(低温处理第 6 天开始到控温结束后 4 d)进行作物冠层光谱测定,同时对室外自然状态下生长的同期玉米进行光谱测定。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫下玉米株高变化

从表 2 可以看出,低温导致株高降低,拔节期低温控制和对照的株高增长分别为 14.89% 和 30.34%,大喇叭口期低温控制和对照的株高增长分别为 11.30% 和 26.17%,拔节期低温对植株形态的影响要大于大喇叭口期。

表 2 低温胁迫下春玉米株高变化/cm

Table 2 Change of plant height of spring maize under chilling stress

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage			大喇叭口期 Bell-mouthed stage		
	06-27	07-04	增长百分率 Increment percentage	07-12	07-19	增长百分率 Increment percentage
15℃低温处理 Chilling stress (15℃)	109.15	125.40	14.89%	191.10	212.70	11.30%
对照 CK	108.75	141.75	30.34%	192.75	243.20	26.17%

2.2 低温胁迫下植株生物量及叶面积变化

玉米低温处理 7 天后,进行了植株的生物量和叶面积测量,从表 3 中可以看出,低温导致玉米生物量降低,拔节期的鲜重和干重与对照相比减少了 26.6% 以上,大喇叭口期的鲜重和干重与对照相比

减少 5% 左右。从图 1 中可以看出,低温导致玉米植株叶面积增加减少,即生长缓慢,拔节期与对照相比减少 25%,大喇叭期与对照相比减少 6% 左右。因此,拔节期低温对植株生物量及叶面积的影响要远大于大喇叭口期。

表 3 低温胁迫下春玉米植株生物量变化/(g·株⁻¹)
Table 3 Change of plant biomass of spring maize under chilling stress/(g·plant⁻¹)

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage				大喇叭口期 Bell-mouthed stage			
	茎 Stalk		叶 Leaf		茎 Stalk		叶 Leaf	
	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight
对照 CK	351.96	28.95	196.95	37.98	785.95	112.10	289.16	62.21
15℃低温处理 Chilling stress (15℃)	216.78	18.75	144.48	27.47	746.04	79.91	274.68	60.43

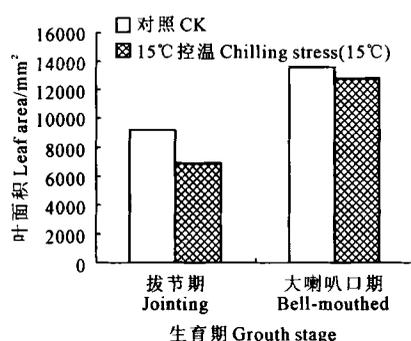


图 1 低温胁迫下春玉米植株叶面积变化

Fig.1 Change of plant leaf area of spring maize under chilling stress

2.3 低温胁迫下玉米功能叶片光合作用变化

不同时期的低温均导致玉米蒸腾速率的降低及光合速率下降(表 4),15℃低温处理 7 天后,光合速率比对照下降 10% 左右,蒸腾速率下降 58% ~

表 4 低温胁迫对春玉米光合速率和蒸腾速率的影响

Table 4 Effect of chilling stress on photosynthetic rate and transpiration rate of spring maize

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage		大喇叭口期 Bell-mouthed stage	
	蒸腾速率 Transpiration rate /(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	光合速率 Photosynthetic rate /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	蒸腾速率 Transpiration rate /(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	光合速率 Photosynthetic rate /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
15℃低温处理 Chilling stress (15℃)	1.772	27.913	1.363	28.625
对照 CK	4.195	30.948	3.811	32.194

2.5 玉米关键发育期低温对产量结构的影响

从表 5 可以看出,拔节期和大喇叭口期的低温控制对穗行数影响不大,对百粒重影响不大,但是对每行穗粒数的影响明显,因此,导致拔节期低温处理后减产率为 34%,大喇叭口期低温处理后减产率达到 38%,其中穗粒数的影响更为明显,减少 41%,由此可见,大喇叭口期低温对产量的影响更为显著。玉米拔节期是玉米进入生殖生长的开始,此时低温对玉米幼穗的分化会产生不同程度的影响,而大喇叭口期可能是导致玉米雄穗花粉粒正常发育的敏感时期,此时低温可能导致部分花粉败育,从而致使玉米的结实率降低,使理论穗粒数与实际穗粒数产生

64%。

2.4 低温胁迫下玉米冠层光谱变化

图 2 显示,在可见光范围内,低温胁迫下和对照的玉米冠层光谱特征均符合绿色植物的变化特征。可见光波段,在 540 nm(绿色)附近形成一个反射峰,在 670 nm 附近的红光区形成反射低谷,受低温胁迫后的玉米冠层光谱反射率在可见光波段均有所增加。700 ~ 750 nm 之间,红光波段强烈地吸收与近红外波段强烈地反射使得光谱曲线出现一个陡峭的爬升脊,反射率迅速抬升,即“红边”特征,健康玉米冠层的斜率大于低温胁迫下的玉米冠层斜率。在近红外波段,780 ~ 1 350 nm 反射率高原区,受低温胁迫的玉米冠层反射率降低,健康玉米冠层反射率为 40% ~ 60%,低温影响的玉米叶片细胞结构遭到破坏,反射率值在 40% 左右。

较大差异,从而能显著降低产量。

3 讨论与结论

玉米各个发育期遇到低温都会使其生长减缓,玉米在营养生长阶段受到低温影响,干物质积累会减少,株高降低及发育期推迟^[10]。从试验结果看出,拔节期和大喇叭口期对玉米进行低温胁迫,玉米的生长参数都受到影响,植株株高、植株生物量及叶面积明显下降,这与刘文彬^[11]、于龙凤^[12]的研究结论基本一致,并且拔节期受低温的影响要大于大喇叭口期。

表 5 低温控制试验产量分析

Table 5 Yield analysis of spring maize under chilling stress

项目 Items	拔节期 Jointing stage		大喇叭口期 Bell-mouthed stage	
	低温 Chilling stress (15℃)	对照 CK	低温 Chilling stress (15℃)	对照 CK
穗位高 Ear height/cm	78.80	76.60	81.80	81.20
穗长 Ear length/cm	22.70	23.08	22.00	22.30
穗粗 Ear diameter/cm	4.72	5.07	4.74	4.95
秃尖长 Bare tip length/cm	3.50	2.94	4.56	2.46
穗行数 Rows per ear	15.20	15.20	15.40	15.20
行粒数 Kernels per row	36.00	38.80	30.60	38.20
理论穗粒数 Theoretical kernels per ear	547.20	589.80	471.20	580.60
理论结实率 Theoretical seed setting rate	0.655	0.913	0.657	0.907
实际穗粒数 Actual kernels per ear	358.20	538.20	309.40	526.40
穗粒重 Grain weight per ear/g	105.10	160.30	89.10	144.00
百粒重 100-grain weight/g	29.30	29.80	28.80	27.40

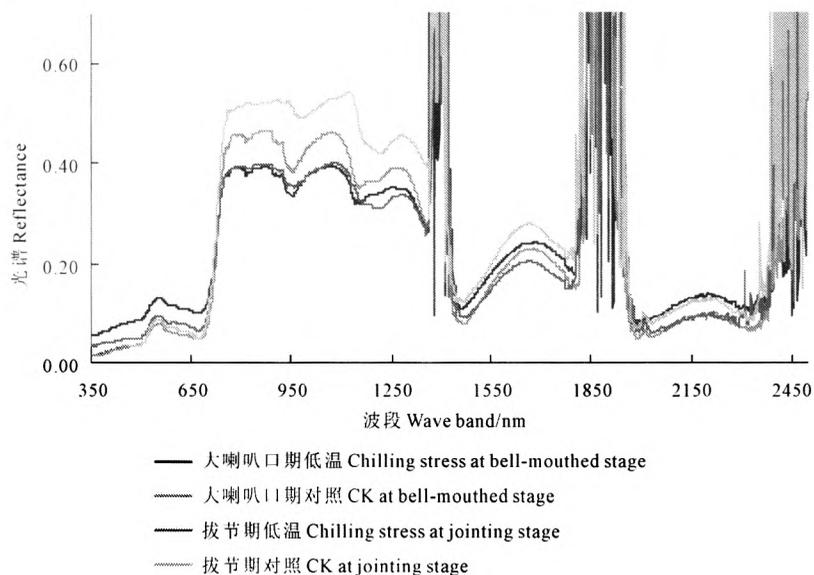


图 2 低温胁迫下玉米冠层光谱变化

Fig. 2 Reflectance of spring maize canopy under chilling stress

受到低温胁迫时,作物功能叶片的光合强度和蒸腾均明显减弱^[13-14],本试验中,不同时期的低温均导致玉米蒸腾速率的降低及光合速率下降,光合速率下降 10%左右,蒸腾速率下降 58%~64%。同时,受低温胁迫时,玉米冠层的光谱反射率也发生变化,在可见光波段,受低温胁迫的玉米冠层光谱反射率均有所增加;在近红外波段(780 nm~1 350 nm),受低温胁迫的玉米冠层反射率降低。

低温胁迫不仅影响到玉米植株形态和光合特性,而且对其产量有较大的影响^[15]。张国民等^[16]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%。张德荣等^[17]对玉米不同生育期进行低温处理,发现低温使玉米生长变慢,发育

期延迟,产量下降。本试验低温处理后,导致玉米穗长缩短、秃尖变长、穗粗变细、行粒数和百粒重减少,最终造成玉米减产,拔节期减产率为 34%,大喇叭口期减产率达到 38%,由此可见,大喇叭口期低温对产量的影响更为显著。

参考文献:

- [1] 徐彦. 2009年中国玉米加工业发展现状及趋势[J]. 农业展望, 2010, 2: 25-27.
- [2] 赵美娟, 杨万琛, 刘志芳. 对我国玉米科研生产中若干问题的思考[J]. 中国种业, 2009, 8: 8-11.
- [3] 杨红旗, 路凤银, 郝仰坤, 等. 中国玉米产业现状与发展问题探讨[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 368-373.
- [4] 秦大河. 全球气候变化对中国可持续发展的挑战[J]. 中国发展观察, 2007, (4), 38-39.

- [5] 王春乙. 东北地区农作物低温冷害研究[M]. 北京:气象出版社, 2008:1-20.
- [6] 刘布春, 王石立, 庄立伟, 等. 基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5):616-625.
- [7] 高素华. 玉米延迟型低温冷害的动态监测[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2):117-121.
- [8] 马树庆, 刘玉英, 王 琪. 玉米低温冷害动态评估和预测方法[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10):1905-1911.
- [9] 曹 阳, 徐淑梅, 何 晶. 哈尔滨市旅游气候资源评价与开发研究[J]. 国土与自然资源研究, 2007, (3):67-68.
- [10] 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.
- [11] 刘文彬. 低温冷害对农作物生长发育的影响[J]. 黑龙江科技信息, 2011, (19):204.
- [12] 于龙凤, 安福全. 低温胁迫对玉米幼苗生理生化特性的影响[J]. 农业科技通讯, 2011, (2):47-49.
- [13] 王迎春, 褚金翔, 孙忠富. 玉米对低温胁迫的生理响应及不同品种间耐低温能力比较[J]. 植物生理科学, 2006, 22(9):210-212.
- [14] 王国莉, 郭振飞. 低温对水稻不同耐冷品种幼苗光合速率和叶绿素荧光参数的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(4):381-383.
- [15] 薛桂莉, 唐文俊, 刘治权, 等. 低温冷害对农作物的危害及防护措施[J]. 农业与技术, 2004, 24(1):85-86, 92.
- [16] 张国民, 王连敏, 王立志, 等. 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.
- [17] 张德荣. 玉米低温冷害试验报告[J]. 中国农业气象, 1993, 14(5):32-34.

(上接第 156 页)

4) 在堆肥过程中, 升温阶段堆肥细菌数量快速增加, 进入高温堆肥期后急剧下降; 堆肥前期真菌和放线菌数量缓慢上升, 到高温阶段迅速上升, 真菌数量增加时期较放线菌滞后。整体来讲, T4 处理堆肥效果最佳, 其次为 T3 处理。

参 考 文 献:

- [1] 中国行业研究网. 2010 年中国肉类加工市场评估及投资前景预测报告[EB/OL]. [2012-05-14]. <http://www.chinaIRU.com>.
- [2] Noline G F, Annemieke M G, Bert A P U, et al. Pathogenic microorganisms in slaughterhouse sludge - a survey[J]. J Food Microbiology, 1996, 33:245-256.
- [3] Pessiot J, Nouaille R, Jobard M, et al. Fed-batch anaerobic valorization of slaughterhouse by products with mesophilic microbial consortia without methane production[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2012, 167(6):1728-1743.
- [4] Jilani G, Xu J M, Wu Y P, et al. Evaluating the maturity and quality of solid waste compost through phospholipid fatty acid biomarkers [C]//Molecular Environmental Soil Science at the Interfaces in the Earth's Critical Zone. Berlin Heidelberg:Springer, 2010:307-310.
- [5] 李 宁, 吴龙华, 李法云, 等. 不同环境因子对海州香薷堆肥品质与物质转化研究[J]. 土壤, 2007, 39(5):794-800.
- [6] 孙志华, 张金水, 同延安, 等. 添加风化煤对蘑菇渣牛粪堆肥的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(2):162-166.
- [7] Dong Y W, Chen Y X, Zhu D Z, et al. The determination of total N, total P, Cu and Zn in chicken manure using near infrared reflectance spectroscopy[J]. IFIP Advances in Information and Communication Technology, 2011, 346:92-98.
- [8] 康 军, 张增强, 邵 森, 等. 污泥堆肥过程中胡敏酸光谱特征变化与腐熟度的关系[J]. 西北农业学报, 2010, 19(7):181-185.
- [9] David C W, James P M, Cesarel L S. Organic compost and manufactured fertilizers: economics and ecology[C]//Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism. Netherlands:Springer, 2011:27-53.
- [10] Yamamoto N, Asano R, Yoshii H, et al. Archaeal community dynamics and detection of ammonia-oxidizing archaea during composting of cattle manure using[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2011, 90(4):1501-1510.
- [11] 李 季, 彭生平. 堆肥工程实用手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2011:10-12.
- [12] 陆 艳, 蔡其刚, 王戈平, 等. 不同发酵剂对牛羊屠宰粪便发酵效果的比较[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2010, 40(2):17-19.
- [13] 张 鸣, 高天鹏, 刘玲玲, 等. 麦秆和羊粪混合高温堆肥腐熟进程研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3):566-569.
- [14] Maria J C, Xiomar G, Marta O, et al. Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste: study of biological stabilization by fourier transform infrared spectroscopy and thermogravimetry combined with mass spectrometry[J]. Biodegradation, 2010, 21(4):543-556.
- [15] 于海霞, 孙 黎, 染冬梅. 不同调理剂对牛粪好氧堆肥的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2):265-238.
- [16] 吴银宝, 汪植三, 廖 新, 等. 猪粪堆肥腐熟指标的研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2):189-193.
- [17] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2):252-256.
- [18] Wang P, Changea C M, Watson M E, et al. Maturity indices for composted dairy and pig manures[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(3):767-776.
- [19] Pablo T, Mariana C R, Bert H J, et al. Carbon and nutrient losses during manure storage under traditional and improved practices in smallholder crop-livestock systems-evidence from Kenya[J]. Plant and Soil, 2011, 328(1-2):253-269.