

低温冷害对玉米生长影响及相关研究

孟 英^{1,2}, 李 明¹, 王连敏², 王立志², 冯延江²

(1. 东北农业大学, 黑龙江哈尔滨 150031; 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: 黑龙江省玉米生产在适应国际和国内市场需求下, 发展迅猛。低温冷害是限制生产的关键气象因素之一。综述了低温对玉米光合作用、呼吸作用、可溶性蛋白、可溶性糖、脯氨酸、电导率等生理指标的影响, 在不同生长阶段, 低温对营养生长和生殖生长均产生不同程度的影响, 提出提高玉米抗寒机制研究。
关键词: 玉米; 低温冷害; 生理
中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2009)04-0150-04

Effects of Chilling Injury on Maize and Correlative Research

MENG Ying^{1,2}, LI Ming¹, WANG Lian-min², WANG Li-zhi², FENG Yan-jiang²

(1. Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150031; 2. Crop Tillage and Cultivation Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

Abstract: The development of maize production in Heilongjiang province is swift and violent in adaptation to the demand of international and domestic market. Chilling injury is one of climatic limits factors in production. The effects of chilling injury on maize physiology mechanism and the growth at different stage were summarized. The existence question and the suggestion were proposed.
Key words: maize; chilling injury; physiology

玉米是高产作物, 它的用途不仅是作为粮食和饲料作物, 还可以作为原材料生产食用油、食品、淀粉、饲料、酒精等。从全球玉米供需情况看, 除食用外, 乙醇及其他工业玉米用量的急剧增长, 大大推动了玉米产业的发展。近年来美国乙醇年产量递增近 20%, 中国对燃料乙醇的需求也在不断增加。美国和中国的玉米消费总量超过全球的 50%, 两国对玉米需求的增加拉动着玉米消费, 促进世界玉米生产面积的持续扩大。

中国是世界玉米第三大生产国, 年生产量占全球的 18%, 黑龙江省在 2007 年已一跃成为全国第一大玉米生产省。在黑龙江省玉米生产过程中, 低温冷害是影响玉米生产的关键气象灾害之一。

1 低温冷害给农业生产和玉米生产带来的损失

低温冷害的发生范围具有地域性和时间性。日本、韩国、美国和中国低温冷害发生较为突出。低温冷害指农作物生育期间, 在重要阶段的气温比要求偏低, 引起农作物生育期延迟, 或使生殖器官的生理机能受

收稿日期: 2008-08-06
第一作者简介: 孟英(1970-), 女, 黑龙江省宝清县人, 博士, 副研究员, 从事水稻栽培育种研究。

150
黑龙江农业科学

到损害, 造成减产。我国平均每年因低温冷害造成农作物受灾面积达 364 万 hm^2 。夏季低温冷害主要发生在东北, 因为这里纬度较高, 5~9 月的热量条件虽能基本满足农作物的需要, 但热量条件年际间变化大, 不稳定, 反映在农业生产上就是高温年增产, 低温年减产。玉米生育期间的低温霜冻, 是我国北方玉米产区的主要气象灾害, 是高产稳产的主要限制因素之一。据东北三省 1957、1969、1972 和 1976 年 4 个严重低温冷害年的统计资料, 玉米平均比上年减产 16.1%。近期 1995 和 1997 年 9 月中旬的局域性早霜, 单产减少约 10%~15%。低温冷害对玉米产量影响较大。

2 低温冷害对玉米生长发育的影响研究

玉米在我国广泛栽培, 是一种喜温作物, 生长下限温度为 10℃。玉米冷害在我国广西、福建少部分地区有苗期冷害, 其它主要发生在北方, 尤其在东北地区, 经常受到低温的伤害。贾会彬等对三江平原近 40 a 的气候与产量资料进行的统计分析表明, 热量因素是限制三江平原大田作物产量的关键因子。影响玉米产量的关键气候因素是生育前期 5~6 月低温, 发生最低温度指标为 15.4℃。据黑龙江省统计, 建国以来黑龙江省先后发生 9 次低温冷害, 每次作物单产和总产均下降 20%~30%。

Moslich 提出把 0°C 以上低温出现的生理伤害称为“冷害”。而将作物在 0°C 以下温度所遭受的伤害称为“冻害”。Bierkander 早在 1778 年就报道了 8 种植物在 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 条件下死亡的现象。Goppert, Hardy 和 Molisch 等也发现了作物在低温下萎缩或死亡现象, 到 21 世纪初, 这种低温胁迫现象已得到了学术界的公认。

2.1 低温对玉米生理生化影响

2.1.1 低温对玉米叶绿素及光合作用的影响

史占忠等人^[1]发现低温明显减弱玉米功能叶片的光合强度, 减弱程度随低温程度和持续时间的增加而增大。叶绿素是绿色植物进行光合作用捕获光能的重要物质, 其含量的高低在某种程度上与光合作用有关。王连敏等^[2]发现低温明显地减少玉米叶片叶绿素含量, 温度越低, 叶绿素含量下降得越明显。低温对玉米幼苗不同部位叶片的叶绿素含量也有不同程度的影响。在不同叶位的叶片中, 越是处于上部正在发育的叶片, 经低温处理后, 叶绿素含量下降的幅度越大, 而底部发育成熟的叶片, 虽然低温也能降低叶片叶绿素含量, 但降低的幅度较小。低温明显减弱玉米功能叶片的光合强度, 减弱程度随低温强度和持续时间的增加而增大。温度从 25°C 下降至 5°C 时, 叶片的光合作用降低, 叶绿素 a、b 含量降低, 地上部生长减慢, 根和茎中的呼吸增加。

2.1.2 低温对玉米呼吸作用的影响

呼吸作用是植物生命中极为重要的代谢机能。植物遭遇低温, 必然影响呼吸。低温能明显减弱玉米的呼吸, 减弱程度随低温强度和持续时间的增加而增强。史占忠等人^[1]用玉米龙单 3 号幼苗进行低温处理试验, 2 片完全叶幼苗分别在 14°C 、 10°C 低温下持续 10 d, 呼吸强度比在 18°C 常温条件下分别下降 19.6% 和 30.4%; 4 片完全叶期分别在 15°C 、 11°C 下持续 10 d, 比在 19°C 常温下分别下降 7.1% 和 21.4%。

李月梅等人^[3]研究玉米品种龙单 3 号, 在 2 展叶期经 10°C 、 14°C 处理, 呼吸强度比对照 18°C 分别降低 36.3% 和 22.6%; 4 展叶期和灌浆期分别在 11°C 和 14°C 处理, 比对照 19°C 分别降低 35.4% 和 25.8%。

2.1.3 低温对玉米可溶性蛋白及可溶性糖的影响

玉米可溶性蛋白和可溶性糖的变化波动随实验设计而改变, 研究结果不完全一致。路芳等^[4]对玉米种子萌发过程中进行低温冷袭 (3.0°C), 研究结果表明: 冷袭处理植株与对照植株相比, 高度、干重和鲜重的生长率均随叶龄和生长天数的增加而降低, 可溶性蛋白质含量、可溶性糖含量均随叶龄和生长天数的增加而呈下降趋势; 但是相对电导率和植株浸出液中的 K^{+} 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 含量则呈上升趋势。从冷袭处理植株与对照植株之间各项指标的差值来看, 均在 15 d 龄或 17 d 龄差

值最大, 说明此时期是玉米敏感性最大的时期, 也就是玉米离乳期。但 Buxton^[5], 王茅雁^[6], 高素华等^[7] 等人与路芳的观点不同, 认为低温处理降低核酸含量, 但可溶性蛋白质含量增加。

高桂花等^[8]研究低温胁迫对玉米幼苗可溶性蛋白含量的影响时发现, 5 个玉米自交系可溶性蛋白含量变化较大。低温胁迫处理的前 2 d, 可溶性蛋白含量下降较显著, 而后略有上升。但下降到最低点的时间不同, 有的品种在第 1 天下降到最低点, 有的品种在第 2 天下降到最低点。高桂花等^[8]又对可溶性糖进行测定, 变化趋势与可溶性蛋白正好相反。在低温胁迫的前 2 d, 可溶性糖含量均有不同程度增加, 但随着胁迫时间的延长, 5 份玉米自交系的可溶性糖含量均不同程度的下降。

2.1.4 低温对玉米脯氨酸的影响

王连敏等人^[9]对玉米幼苗进行 6°C 低温处理 3 d, 脯氨酸含量比对照增加 58.3%, 随着处理时间增加, 脯氨酸继续增加, 6°C 低温处理 6 d, 脯氨酸含量比对照增加 231.3%; 10°C 处理 6 d, 脯氨酸含量比对照增加 98.8%。并且玉米在整个生长发育过程中任何时期脯氨酸积累量都随温度的降低而增加。他们认为低温可明显地增加玉米体内脯氨酸含量。玉米细胞内游离脯氨酸含量的增加可以提高细胞的抗逆能力, 增加细胞对不良环境的适应性, 从而减轻细胞膜的受害程度。

马凤鸣等人^[10]采用盆栽方法, 在玉米三叶期进行低温胁迫试验, 设定 5 个温度梯度, 5 个胁迫时间。试验结果表明: 随着低温胁迫条件的变化, 4 个品种幼苗叶片中的脯氨酸含量均发生了显著的变化。脯氨酸含量的变化是先升高而后下降, 但基本都高于对照, 表明膜系统的保护作用增强。对同一品种来说, 随着低温胁迫程度的增加, 植株游离脯氨酸含量增加速度加快, 其增加幅度为: $5^{\circ}\text{C} > 6^{\circ}\text{C} > 7^{\circ}\text{C} > 8^{\circ}\text{C} > 9^{\circ}\text{C} > \text{CK}$, 并随着低温胁迫时间的延长, 植株幼苗叶片内游离脯氨酸积累量增加, 脯氨酸积累有助于细胞或组织持水, 降低冰点, 增加植物对低温胁迫的抵抗力。高桂花等^[8] 人的试验也得出一致的结论, 玉米幼苗转入低温胁迫后, 5 个玉米自交系的脯氨酸含量均随处理时间的延长而呈增加趋势。高灿红^[11], 张雪峰^[12] 等人的试验也证明了这一结论的正确性。

2.1.5 低温对玉米电导率影响

电导率是衡量玉米植株细胞的内溶物扩散到细胞外的一项生理指标, 也是衡量细胞组织幼嫩程度和细胞质膜是否受到伤害的指标。在通常情况下, 细胞内的电解质因为受细胞的阻隔保留在细胞内, 当细胞膜遭受伤害时, 电解质则大量涌向细胞外导致电解质增加。低温强度越高, 玉米体细胞中的电导率增加幅度越大, 细胞膜系统受到破

坏程度就越大。张金龙^[13]实验也得到相同的结论,外渗电导率随低温胁迫的加重而明显增加。

William^[14]提出外渗电导率是反映生物膜通透性的重要参数,膜的通透性是生命活力的指标之一。植物低温冷害中最核心的伤害是膜系统被低温破坏。正常情况下细胞是一个完整的生物膜系统,其流动性与膜中磷脂的流动性有直接关系。生物膜中饱和磷脂与不饱和磷脂交替排列,整个系统以液晶状态存在。对低温敏感的植物膜中含有较多的饱和脂肪酸,而抗性较强植物的膜内含有较多的不饱和脂肪酸,从而确保低温状态下膜的流动性。Maynard^[15]也认为低温冷害可引起膜相分离,使不饱和脂肪酸、饱和脂肪酸各自聚集在一起,此时细胞膜由流动镶嵌的液晶状态转变成凝胶状态,细胞膜的完整性遭到破坏。与此同时膜上吸附一定生理功能的离子如 Ca^{2+} 脱落,伴随细胞内部离子外渗,细胞的外渗电导率增加。外渗电导率随冷害的加重而升高,充分显示了细胞膜受伤害程度,是随冷害的加重而加重。

2.1.6 低温对玉米细胞保护酶活性的影响 正常情况下,活性氧对植物的毒害作用被活性氧清除系统的活性所平衡,活性氧清除系统包括酶促和非酶促两大系统,酶促系统的主要酶类有 SOD, POD, CAT 等^[16]。在低温胁迫下,玉米体内活性氧清除系统的活性就会增加或减小,破坏了氧的产生和清除的平衡关系,会对玉米的生长发育产生不利影响。吴建慧等^[17]在光照和黑暗条件下,测定玉米幼苗叶片中超氧自由基的产生速率增加;保护酶 SOD、CAT 活性下降,POD 活性升高。

高灿红等 2006 年^[11]用耐寒性不同的玉米自交系幼苗黄 C(耐寒型)和 Mo17(低温敏感型),研究在低温条件下(5°C , 3 d),根、中胚轴和胚芽鞘 3 个部位中的过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性含量变化与耐寒性之间关系。结果表明,低温期间黄 C 的中胚轴、胚芽鞘相对生长率显著高于 Mo17;黄 C 的根、中胚轴、胚芽鞘 3 个部位的 CAT、POD 活性含量变化率均高于 Mo17。

马凤鸣等人 2007 年^[10]对 4 个试验品种进行低温胁迫,过氧化物酶(POD)活性总体上呈现逐渐增加的趋势,各品种过氧化物酶增加幅度大小顺序为:东农 250> 四密 21> 通单 24> 屯玉 88。但 4 个品种的超氧化物歧化酶(SOD)均呈现出先上升后下降的倒 V 字形变化趋势。上升阶段,超氧化物歧化酶活性增加的幅度随抗寒性的增强而增大;下降阶段,超氧化物歧化酶活性降低幅度随着抗寒性的增强而减小。过氧化氢酶(CAT)变化趋势与超氧化物歧化酶(SOD)相同,活性也随着低温胁迫的加重而降低。同一品种的过氧化氢

酶活性随着低温胁迫程度的加重而不断降低。

2.2 低温对玉米生长发育的影响

2.2.1 低温对玉米营养生长的影响 玉米从发芽到成熟,各个时期遇到低温都会使生长延缓。史占忠等^[1]试验种子萌发期对低温的反应时发现,低温会降低种子的发芽势和发芽率,且发芽势降低的幅度大于发芽率。种子发芽后低温,显著抑制植株营养体的生长和发育进程,抑制程度随低温持续时间的延长而加重。受抑制的营养生长是可恢复的。恢复时间的长短根据植株营养生长被抑制的程度而定。低温持续时间越长,受抑制程度越重,恢复过程也就越长。王连敏^[18]综述低温对玉米幼苗生长、发育和功能的影响时与史占忠^[1]观点一致,低温首先影响玉米种子萌发,使玉米发芽进程减缓,降低发芽势和发芽率,延迟出苗并降低幼苗活力。这一观点在后来的试验中得到了证实^[2]。如果玉米播种至出苗期间温度低不但使出苗推迟,还会影响苗全苗齐苗壮,使玉米遭受苗期低温危害,生长发育受影响。玉米出苗至吐丝期受低温影响,营养生长受抑制,主要表现在干物质积累减少,株高降低及各叶片出现时间向后推迟。其主要原因是低温减小光合强度即光合速率下降,同时植株功能叶片有效叶面积增加缓慢也是一个限制因素。

高灿红等 2006 年^[11]报道低温期间的相对生长率占恢复期间相对生长率的百分率可被用于衡量玉米幼苗不同部位的耐寒情况。试验品种黄 C 的百分率均显著高于 Mo17,说明低温对黄 C 的生长阻碍相对较小。

2.2.2 低温对玉米生殖生长及产量的影响 低温对玉米生殖生长的影响主要是在玉米的生育后期。在生育后期遇低温时,玉米生殖生长就会受到阻碍而引起减产。低温不但显著抑制植株的营养生长和生殖生长,而且延迟发育进程,使出苗、拔节和抽穗期拖后。张德荣等^[23]认为在玉米各生育期进行低温处理,以孕穗期减产最多,是玉米生理上低温冷害的关键期。玉米籽粒灌浆期低温主要是降低籽粒干物质积累速率,灌浆前期低温影响严重,越往后影响越小。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。据报道^[20],在灌浆期温度低于 16°C 玉米灌浆过程基本停止。同时低温对玉米籽粒产生直接伤害,并且玉米籽粒比叶片受伤害严重,这是导致玉米生育受阻的主要原因。孙孟梅等^[21]分析低温冷害对玉米含水率的影响时认为,低温会影响玉米的成熟度,进而使籽粒含水率增加,造成玉米成熟后产量和品质下降。张国民等^[23]研究表明,苗期低温可使玉米的百粒重下降, 6°C 、 10°C 处理后,百粒重分别比对照下降 9% 和 3.6%,从而造成玉米减产。王书裕等^[22]研究表明:在

生长季节如积温比常年少 5℃, 玉米会发生一般程度的冷害, 减产 5%~15%; 如少于 10℃以上, 则导致严重冷害, 减产在 25%以上。

3 存在的问题与建议

玉米是温度敏感型作物, 易遭受低温冷害的影响。黑龙江省是我国冷害发生频率最高的省份, 在玉米冷害方面的研究还尚显不足, 特别是黑龙江省不同地区主栽品种在不同生育时期抗寒性方面、玉米抗寒性生理生化机制及抗寒育种方面的研究应加强, 从而为增强玉米抗寒性, 提高玉米产量做出贡献。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 李月梅, 马莹莹, 杨英良, 等. 低温对玉米光合和呼吸作用的影响及与冷害关系的研究[J]. 黑龙江农业科学, 1991(6): 12-16.

[6] 路芳, 殷华, 曹文钟, 等. 玉米幼苗冷害敏感性的初步研究[J]. 植物研究, 2002 22(4): 463-466.

[7] Buxton D R Cottonseed germination related to DNA synthesis following chilling stress[J]. Crop Sci., 1977 17: 342-344.

[8] 王茅雁. 低温对玉米幼苗叶片核酸含量和核酸酶活力的影响[J]. 华北农学报, 1989, 4(4): 28-33.

[9] 高素华. 玉米低温冷害机理研究综述[J]. 气象科技, 1997(4): 37-43.

[10] 高桂花, 王瑞兵, 刘艳芳, 等. 低温胁迫下玉米幼苗生理变化的研究[J]. 河北农业科学 2006 10(4): 16-19.

[11] 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.

[12] 马凤鸣, 王瑞, 石振. 低温胁迫对玉米幼苗某些生理指标的影响[J]. 作物杂志 2007(5): 41-45.

[13] 高灿红, 胡晋, 郑昀晔, 等. 玉米幼苗抗氧化酶活性 脯氨酸含量变化及与其耐寒性的关系[J]. 应用生态学报, 2006 17(6): 1045-1050.

[14] 张雪峰, 张立军, 胡滨. 玉米种子萌发抗冷鉴定指标的研究[J]. 杂粮作物, 2006, 26 (3): 194-196.

[15] 张金龙, 周有佳, 胡敏, 等. 低温胁迫对玉米幼苗抗冷性的影响初探[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(2): 129-134.

[16] William G. Hopkins. Introduction to Plant Physiology [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1995: 431-432.

[17] Maynard C. Bowers Environmental Effects of cold on plants Plant-Environment Interactions[C]. New York: Marcel Dekker, Inc., 1994: 391-411.

[18] 熊冬金, 林志红, 畅柏云, 等. 玉米在涝渍和低温胁迫过程中四种酶同工酶分析及丙二醛的变化[J]. 南昌大学学报, 1996, 20(4): 314-319.

[19] 吴建慧, 杨玲, 孙国荣. 低温胁迫下玉米幼苗叶片活性氧的产生及保护酶活性的变化[J]. 植物研究, 2004, 10(4): 456-459.

[20] 王连敏. 低温对玉米幼苗生长发育及功能的影响[J]. 杂粮作物, 1990(6): 23-25.

[21] 张毅, 戴俊英, 苏正淑. 灌浆期低温对玉米籽粒的伤害作用[J]. 作物学报, 1995, 21(1): 71-75.

[22] 王书裕. 作物低温冷害研究[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 116-120.

[23] 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.

[24] 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.

[25] 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.

第二十届哈洽会开展 全球 12 万客商参展参会

第二十届中国哈尔滨国际经济贸易洽谈会于 2009 年 6 月 15 日在哈尔滨国际会展中心正式开展。主办方透露, 来自 68 个国家和地区的 12 万客商参展参会, 其中有 22 家世界 500 强企业和 274 家跨国公司。

金融海啸背景下, 各个国家和地区都在积极寻求对外合作, 这使得本届哈洽会格外受到青睐, 展位数量和展览规模均较往届有突破性增长, 室内外展览总面积达 8.5 万 m², 比第十九届增加 25%。展区内共设置了现代农业展区、高新技术展区、服务外包展区、金融产业展区、制造业展区、旅游产业展区等十多个主题展区。

拉美国家首次参加哈洽会寻找商机, 除了贸易洽谈、项目推介, 古巴还将举行专门的推介会。此外, 韩国展位数增幅明显, 富川市、京畿道、忠清北道等 6 个市道展位达 77 个。台湾企业参展也较以往有较大突破, 展位数量达 91 个。

据介绍, 哈洽会目前已经成为中国对俄经贸合作的最大展会和东北亚区域经贸合作的重要平台。在为期 5 d 的哈洽会期间, 将举办俄罗斯商务日、中俄边境地区合作研讨会、中俄区域合作论坛、东北亚区域合作发展国际论坛等一系列活动。

哈洽会是经中国国务院批准的大型国际经贸洽谈会之一, 自 1990 年创办以来, 已连续成功举办了二十届, 累计参会的中外客商达到 150 多万人次, 总成交额近千亿美元。