



孙磊,王丽华,高中超,等.黑龙江省玉米低温冷害致灾机理及防御措施[J].黑龙江农业科学,2019(11):148-153.

# 黑龙江省玉米低温冷害致灾机理及防御措施

孙磊,王丽华,高中超,刘卜鸣,佟玉欣,张磊,王爽,常本超

(黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**黑龙江省是农业大省,是主要的玉米产地。我国北方热量资源少,气候变异性大,玉米极易发生低温冷害。低温冷害会破坏膜结构的完整性、导致叶绿体形态明显变化、生殖器官和功能异常、蛋白质不可逆分解加强、产生有害物质等,影响玉米生长发育,使灌浆推迟、灌浆速率下降,造成减产。本文从低温冷害的判别指标、危害、范围、致灾机理、预防及改善措施等几方面进行了探讨,并提出了展望,旨在为今后低温冷害防治的发展提供参考。

**关键词:**玉米;低温冷害;防御措施

2015年我国玉米总产量达到2.24亿t,是中国第一大作物<sup>[1]</sup>,东北三省玉米产量占全国玉米总产量的29%,对我国粮食产量贡献较大<sup>[2]</sup>。玉米是喜温的C<sub>4</sub>作物,对温度反映敏感,生长发育所需积温在1800~2800℃,玉米易发生低温冷害。低温冷害会使膜结构<sup>[3]</sup>、光合器官和生殖器官等发生异常<sup>[4]</sup>;影响玉米植株的生理代谢<sup>[5-6]</sup>;

同时低温冷害也会产生有害物质<sup>[3]</sup>;影响玉米生长发育,导致减产。低温冷害是最重要的农作物非生物胁迫之一,会给粮食安全带来极大的危机。

黑龙江省是农业大省,主要的商品粮产地,黑龙江省粮食产量对我国粮食产量起关键作用。东北地区为温带大陆性季风气候,热量资源少,全年无霜期一般为100~150d,年均温由北向南分布在一5~4℃,年均温为2.6℃<sup>[7]</sup>,是全国温度最低的省份,并且秋季降温急,约每3~5a发生一次低温冷害<sup>[8]</sup>,低温冷害是影响黑龙江省农作物生长发育的主要气象灾害。如2016年哈尔滨年平均气温5℃<sup>[9]</sup>,8月和9月平均气温20.15℃,较低的温度不利于玉米灌浆,10月气温4.6℃,易

收稿日期:2019-05-20

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0300405);黑龙江省应用科技研究与开发计划(GA17B001);中央引导地方科技专项(ZY17C07)。

第一作者简介:孙磊(1981-),男,硕士,副研究员,从事土壤肥料研究。E-mail: tufeisuosunlei@163.com。

## Causes, Harms and Control Measures of Waterlogging in Heilongjiang Province

GAO Zhong-chao<sup>1</sup>, SUN Lei<sup>1</sup>, WANG Li-hua<sup>1</sup>, LI Wei-qun<sup>1</sup>, SONG Bai-quan<sup>2</sup>, ZHANG Li-li<sup>3</sup>, DU Chun-ying<sup>4</sup>

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Harbin 150086, China; 2. Heilongjiang Pro-vincial Key Lab of Cold Region Ecological Restoration and Resource Utilization, Harbin 150080, China; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 4. Saertu District Agri-cultural Bureau of Heilongjiang, Daqing 163000, China)

**Abstract:** Waterlogging is one of the main disasters in Heilongjiang Province. Waterlogging erodes cultivated soil, destroys soil physical and chemical properties, microbial community structure, inhibits root respiration, reduces leaf photosynthesis, and then affects crop growth and yield, which is the main factor causing low and unstable grain yield. This paper mainly analyzed the causes, hazards and control measures of waterlogging in Heilongjiang Province. In view of waterlogging disasters, the mechanism of waterlogging is clarified and the prevention, mitigation and control system of waterlogging disasters is improved, which provides technical support for future research and control of waterlogging.

**Keywords:** waterlogging; soil; crop; harm; control measures

发生霜冻危害。低温冷害导致农作物平均减产 13%~35%,根据记录,东北在 1972 年、1975 年、1976 年等年份均发生了严重的低温冷害,东北三省的粮豆总产量比上年减产 500 万 t 左右,并且冷害的发生具有不确定性<sup>[10-11]</sup>。因此,深入研究低温冷害的分布和发生时间,采取适宜的预防应对措施,减轻低温冷害对农作物的危害,有利于提高粮食产量,为粮食安全生产奠定基础。本文分别从低温冷害的判别指标、造成的危害、发生范围、致害的机理、预防及改善措施等几方面进行了深入探讨,并对未来低温冷害防治的发展提出了展望,以期对后续研究提供参考。

## 1 低温冷害的判别指标

近年来,通过对低温冷害的研究,建立了多种判别指标。应用比较广泛的指标主要有几大类:第一类是积温指标<sup>[11]</sup>,气候学指标,没有与作物生长发育相结合。第二类是作物发育期距平指标<sup>[12-13]</sup>,通过主要发育期延迟天数来判断是否发生延迟型冷害,第三类是热量指数<sup>[14]</sup>,直接反映了热量条件是否满足作物生长发育所需;第四类是综合以上指标的综合指标<sup>[15-16]</sup>,可用于冷害监测与等级评估。

对玉米来说,日平均气温 15~18℃为中等冷害,13~14℃为严重冷害。苗期 15℃,生殖分化期 17℃,开花期 18℃,灌浆期 16℃时,生育速度均下降 60%。以玉米拔节期为准,21℃为轻度冷害,生长速度下降 40%;17℃为中度冷害,生长速度下降 60%;13℃为严重冷害,生长速度下降 80%<sup>[17]</sup>。

## 2 低温冷害的危害

有研究表明,6~8℃时玉米种子不萌发、幼苗不生长,会对细胞和组织产生不可逆伤害<sup>[18]</sup>。玉米正常出苗期的气温条件应满足 10℃,−1℃短时低温幼苗受冻伤;日平均气温低于 8℃且持续 3~4 d,导致烂种或死苗;持续 5~6 d,死苗率高达 30%~40%;持续 7 d 以上,死苗率可达 60%。苗期低温导致玉米根冠细胞的呼吸活性下降,株高降低 5%<sup>[19]</sup>。大喇叭口期遇低温会导致玉米穗粒数减少,严重减产,有研究指出,玉米(先玉 335 品种)在大喇叭口期经过 15℃低温处理

7 d 后,穗粒数减少 41%,减产 38%<sup>[20]</sup>。开花期对温度变化最敏感,最适宜的温度为 25~28℃,开花期到拔节期的温度会严重影响玉米生长发育。开花期到灌浆期的最适温度为 25.5℃,如果抽雄开花期平均气温低于 20℃,会影响玉米开花及授粉,易发生延迟型冷害,影响玉米的正常灌浆,导致籽粒不完全成熟,产量下降。春季低温影响玉米出苗,出苗率低;夏季低温(凉夏)持续时间较长,导致抽穗期推迟,早霜时籽粒没有完熟,若早霜提前则减产更为严重。

## 3 低温冷害的范围

东北地区玉米冷害呈北多南少的空间分布特点<sup>[21]</sup>。黑龙江省的中度低温冷害区<sup>[22]</sup>,主要集中在大兴安岭以南和伊春以北等地,水稻和玉米容易发生低温冷害。严重和重度低温冷害区,主要发生在西北地区的大兴安岭和伊春以北等地,该区域水稻和玉米不是主要农作物,因此对水稻和玉米的影响并不大。松嫩平原大部、三江平原大部及黑河南部一般是玉米低温冷害的多发区<sup>[23]</sup>,同时该区暴露性较高,如有重度灾害发生,则对全省粮食产量产生严重影响。低温灾害平均面积呈增加趋势<sup>[24]</sup>,主要是由于气候变暖,热量条件改善后东北地区种植偏晚熟的品种、向高纬度高海拔过度扩种、春季过早播种等,加大了发生低温灾害的概率<sup>[25]</sup>。

## 4 低温冷害的致害机理

### 4.1 影响细胞结构

细胞膜主要成分是蛋白质和脂类,常温下膜脂为液晶相,温度严重下降会导致膜脂发生相变或出现相分离<sup>[26]</sup>,部分膜脂由液晶相转变为凝胶相,破坏了膜结构及功能的完整性,使代谢紊乱。植物遇冷会表现出大量病理反应,如细胞失去膨压、囊泡化、胞质和液泡体积减小,细胞器变形、解体 and 结构丧失等<sup>[3]</sup>。Yadav<sup>[27]</sup>研究指出,植物遇冷害细胞膜会受到急性脱水产生的压力,使细胞膜严重损伤。细胞膜结构受到破坏是导致冷害损伤和死亡的主要原因<sup>[28]</sup>。

### 4.2 光合器官发育异常

低温胁迫时叶绿体形态明显改变,被膜和类囊体膜断裂、基粒垛叠消失、整个叶绿体显著膨

胀。低温会抑制冷敏植物的叶绿素合成,并且叶绿素分解速度加快。由于低温使光合器官非正常发育及叶绿素合成速率下降,导致光合活性下降,碳转换速率降低<sup>[29]</sup>。低温胁迫下玉米叶片光合速率降低,干物质积累减少,生理功能受到影响<sup>[30]</sup>。温度低于 10℃时,大多数 C<sub>4</sub>植物的光合作用便渐趋停止。低温胁迫会抑制植物有氧呼吸,无氧呼吸加强,体内大量有机物质被消耗,植物处于“饥饿”状态,这是形成弱苗和死苗的关键原因。Ercoli 等<sup>[31]</sup>研究指出,冷害直接减少叶面积,叶绿体受到不可逆损伤,SPAD 值下降,影响籽粒灌浆。通过对叶绿素荧光参数的测定,得出电子传递和激发能分配也受低温的影响<sup>[32]</sup>,进一步影响光合作用。

#### 4.3 蛋白质分解加强

低温会破坏玉米植株的氮代谢,受到破坏的性质和深度与低温强度和持续时间有关<sup>[33]</sup>,零上低温使植株生长缓慢,并出现保护性反应,植株体内大量积累含氮化合物和易溶性蛋白质,可溶性物质的升高有助于降低细胞液渗透压<sup>[34]</sup>,缓解细胞失水,从而提高植物对低温的耐受性<sup>[35]</sup>。温度持续降低,零下低温伴随蛋白质化合物的不可逆分解过程,由最初的蛋白质变性到蛋白质凝聚。低温下,植物细胞产生大量水解酶,加速蛋白质分解,而合成速度小于分解速度,蛋白质水平处于负值状态,造成蛋白质缺乏和有毒的水解产物积累。

#### 4.4 产生有害物质

低温抑制植株有氧呼吸,促进无氧呼吸,使无氧呼吸的中间物或最终产物如乙醛、乙醇、酚类等有毒物质大量积累<sup>[24]</sup>,危害正常生理过程。一般在室温下进行无氧呼吸 24~28 h 就会造成植物致死性伤害,因而冷胁迫时间一长就足以杀死细胞。

#### 4.5 影响植株激素形成

冷害会破坏植株原本内源激素的平衡状态,使得促进生长的激素减少,抑制生长的激素增加。其中脱落酸(ABA)对植株抗寒性作用明显,植物在低温下 ABA 含量增加。Veselov 等<sup>[36]</sup>研究表明,细胞分裂素(CTK)利于植物抗逆性的形成,CTK 在低温条件下能促进细胞分裂和调控其分化,抵抗低温对植株造成的伤害;Waldman 等<sup>[37]</sup>

研究表明植株抗寒力与赤霉素(GA<sub>3</sub>)浓度也有关系,低温诱导 ABA/GA<sub>3</sub>值提高,迫使基因表达发生改变,促进合成抗寒特异蛋白质,从而提高抗寒能力<sup>[38]</sup>。在不同品系中 ABA/GA<sub>3</sub>明显不同,如耐冷品系郑单 958 和吉单 415 值较大且变化幅度小<sup>[39]</sup>,抗冷害能力较强。

#### 4.6 影响生殖器官发育

生殖生长时期低温胁迫对生殖器官结构和功能危害严重,导致不受精、受精卵不存活和籽粒不成熟,花粉形成期对低温最为敏感。水稻的花药比其它器官对低温胁迫更为敏感,需要通过人工授粉来缓解,避免产量严重降低。在玉米生产中,花前或开花时遇到冷害会抑制分生组织形成,导致穗数减少<sup>[40]</sup>。Croser 等<sup>[41]</sup>研究表明低温胁迫会提高花中脱落酸浓度,导致受精失败。进入减数分裂,雄性器官对胁迫十分敏感,会对开花、受精和受精卵的发育产生不利影响<sup>[42]</sup>,低温胁迫使花期缩短,导致孢子肥大和破裂。夜间温度低于 10℃时,会减少 50%的花粉,造成严重减产。

#### 4.7 影响灌浆和产量

苗期与抽雄期低温导致玉米灌浆开始时间比正常气温条件下有所推迟,推迟时间为 1~4 d,而且低温强度越大、持续时间越长,灌浆开始就越推迟;灌浆初期发生低温造成玉米减产是由于灌浆强度和灌浆速率被减缓<sup>[43]</sup>。刘玲等<sup>[44]</sup>研究指出,灌浆初期低温对玉米产量影响最大,其次是抽雄期低温,影响最小的是苗期低温,抽雄期温度下降 1℃,玉米产量下降 240.8 kg·hm<sup>-2</sup>,而苗期温度下降 1℃,玉米产量减少 126 kg·hm<sup>-2</sup>。低温导致玉米减产 2.10%~16.99%,且低温强度越大、持续时间越长,减产就越为严重。郭春明等<sup>[45]</sup>指出,穗分化期低温导致春玉米穗长和穗粒数显著减少,是春玉米减产的主要原因。

### 5 低温冷害的预防及改善措施

#### 5.1 选育抗寒品种

全球平均气温升幅接近 1.5℃<sup>[46]</sup>,黑龙江省近 50 年来气温上升 1.0℃,活动积温有所增加<sup>[47]</sup>。近几年玉米等作物的一些晚熟品种的种植范围也逐渐扩大,向北移动<sup>[48]</sup>。依据气候变化的尺度,在晚熟品种中筛选培育抗冷性好的品

种<sup>[21]</sup>,才能适应和抵抗北方的低温条件。另外有研究表明<sup>[49]</sup>,在冷害条件下,以细胞膜损伤,冷害程度,存活率和光合作用等指标来判定,转基因株系的苗期低温耐受性比野生型植株要强。因此,可以通过育种等手段,针对黑龙江省的气候条件,培育选择耐冷性强的玉米品种。

## 5.2 采取抗低温栽培技术

农作物要在适宜时间播种,一般地表温度高于 10℃ 满足播种条件。过早播种,地温较低,不利作物的根系生长,吸收不到足够的养分,不利于出苗。不过有研究表明,短期冷休克可诱导玉米幼苗的耐冷性增强,抗氧化系统在冷激诱导的玉米幼苗耐冷性中发挥关键作用,过氧化氢通过动员抗氧化系统参与信号传导和触发这种冷激诱导的耐寒性<sup>[50]</sup>。

对于低温冷害严重的年份,可适当选择生育期较短的早熟品种,采取地膜覆盖或育苗移栽技术播种。同时科学地搭配温水灌溉措施,一般采用回水灌溉和深水灌溉法,通过增加土壤热量来提高地温,避免冷害的发生。合理施用磷、钾肥,起到壮苗、壮根的作用,提高农作物抵抗低温的能力,还可促进作物的成熟期提前,避开早霜危害。有研究表明,干旱预处理可以降低植物的冷害症状,减小坏死叶面积和光合最大量子产率<sup>[51]</sup>。并且冷害恢复 1 d 后,干旱预处理植株的净光合速率比未进行干旱预处理的高,可能由于干旱预处理提高了植株的抗逆性。

## 5.3 适时适量使用化学药剂

前人研究显示,适量喷施化学药剂可以起到防御冷害效果。在玉米雄穗分化早期施用低剂量(200~600 g·hm<sup>-2</sup>)乙稀利<sup>[52]</sup>,可使产量平均增加 8%~10%。喷施矮壮素<sup>[53]</sup>可早熟 7 d 左右,最佳浓度为 0.20%~0.30%,最佳时期为拔节期和大喇叭口期。张毅等<sup>[54]</sup>在研究了 SOD 酶活性与玉米低温伤害的关系基础上,采用在生长中后期喷洒磷和钾、氮和锰来增强玉米叶片和雌穗 SOD 活性从而提高植物耐冷性。叶面喷洒麦夫迪<sup>[6]</sup>可以减少低温期间叶面积损伤和增加叶面积生长量,保护玉米幼苗,经麦夫迪处理的幼苗,低温处理后株高明显高于对照且较健壮,可促进提前开花。脱落酸<sup>[55]</sup>处理的植株在低温期间表现

出较少的脂质过氧化,能够在细胞内保留累积的脯氨酸,提高低温耐受性。Serkan<sup>[56]</sup>研究发现,喷洒雄黄酮可以通过改善玉米幼苗的抗氧化系统来减轻低温胁迫的破坏作用。采取化控手段对于冷害的防御起到关键的作用,应选择更适合该冷害发生地区使用的化学药剂。

## 5.4 建立农业低温冷害监测预警系统

黑龙江省春玉米各等级冷害低温事件主要发生在 5 月和 6 月<sup>[57]</sup>,生产实际中需重点关注 5 月和 6 月的温度变化。建立农业低温冷害监测服务体系,作好低温预报工作,提前采取预防措施避免粮食产量受影响。可以采用卫星遥感的热红外信息来监测低温冷害的分布范围及低温的强度<sup>[58]</sup>,精准确定冷害会发生的区域及强度。采用遥感监测技术,对农作物的生长发育过程进行全面、系统的监测,做到及时、准确地发布预警信号<sup>[58]</sup>,能够提早做好防范,及时采取措施,降低损失,提高产量。

## 6 展望

近年来,对于作物冷害致害机理的研究越来越深入,前人也提出许多预防抵御冷害的措施方法。现有的各种措施方法,仍存在一些问题和不足。对于抗低温玉米新品种的培育,是一个漫长的过程,需要投入大量的时间和精力,难以满足现在亟需解决的玉米冷害问题。通过化学药剂防御低温冷害的方法,会增加农业生产成本,也会给环境造成一定的负担。

对于低温冷害的预防和应对,未来应该在以下几方面深入研究:继续培育耐冷的玉米品种,从源头上避免冷害发生;研究和探索更快速有效、低成本、环境友好的冷害应对措施;面对低温冷害的发生,需要结合实际发生冷害地区的情况,合理灵活地综合运用生物、化控、物理技术来应对冷害;对于冷害,应该以预防为主,提出更有效合理的预防冷害的各种措施。冷害是危害黑龙江省粮食产量的主要因素之一,对预防和应对冷害措施的研究是十分有必要的,只有降低低温对作物造成的危害,才能保证粮食产量,为我国农业安全生产奠定基础。

## 参考文献:

[1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展

- 望[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 1941-1959.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [3] 张海燕. 植物冷害机理综述[J]. 山西师大学报(自然科学版), 1998, 12(1): 64-67.
- [4] 佟玉欣, 常本超, 李玉影, 等. 低温冷害致灾机理研究进展及东北抗冷害防控策略[J]. 黑龙江农业科学, 2016(7): 138-142.
- [5] 吴淑清. 玉米低温冷害的化学调控技术分析[J]. 民营科技, 2013(4): 103.
- [6] 高素华. 玉米低温冷害机理研究综述[J]. 气象科技, 1997(4): 37-43.
- [7] 周立威. 黑龙江省玉米低温冷害时空特征及其对玉米产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [8] 唐余学, 郭建平. 我国东北地区玉米冷害风险评估[J]. 应用气象学报, 2016, 27(3): 352-360.
- [9] 许小峰. 中国气象年鉴[M]. 北京: 气象出版社, 2017.
- [10] 余弘泳, 赵俊芳, 余会康. 气候变化对年代际东北玉米冷害影响分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(5): 113-122.
- [11] 高晓容, 王春乙, 张继权. 东北玉米低温冷害时空分布与多时间尺度变化规律分析[J]. 灾害学, 2012, 27(4): 65-70.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 郭建平, 庄立伟, 陈蝴蝶. 东北玉米热量指数预测方法研究(I)—热量指数与玉米产量[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 6-10.
- [15] 李玮君, 王春乙. 东北地区玉米低温冷害综合指标研究[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(6): 15-20.
- [16] 朱海霞, 陈莉, 王秋京, 等. 1980-2009 年期间黑龙江省玉米低温冷害年判定[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 44-47.
- [17] 何永梅. 冷害对玉米的危害与预防措施[J]. 农村实用技术, 2012(2): 41-42.
- [18] Greaves J A. Improving suboptimal temperature tolerance in maize—the search for variation [J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47(3): 307-323.
- [19] 郑江平, 王春乙. 低温、干旱并发对玉米苗期生理过程的影响[J]. 应用气象学报, 2006, 17(1): 114-123.
- [20] 冯锐, 武晋雯, 纪端鹏, 等. 低温胁迫下春玉米生长参数及产量影响分析[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 183-187.
- [21] 姜丽霞, 王铭, 朱海霞, 等.  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温距平对玉米不同发育期冷害的判定及其与产量的关系[J]. 中国农学通报, 2016, 32(36): 152-162.
- [22] 刘旭, 刘松, 张瑶. 黑龙江省低温冷害区划研究[J]. 林业勘查设计, 2014(3): 59-62.
- [23] 朱红蕊, 刘赫男, 张洪玲, 等. 黑龙江省玉米低温冷害风险评估及预估[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(3): 173-178.
- [24] 刘笑, 何学敏, 游松财. 1976-2015 年中国主要农业气象灾害的变化特征[J]. 中国农业气象, 2017, 38(8): 481-487.
- [25] 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.
- [26] 王士强, 赵海红, 赵黎明, 等. 水稻冷害生理功能变化与调控研究进展[J]. 中国农学通报, 2017, 33(36): 1-6.
- [27] Yadav S K. Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(3): 515-527.
- [28] 曹让, 梁宗锁, 武永军. 分根交替渗透胁迫下玉米幼苗叶片中游离氨基酸的变化[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 49-54.
- [29] Murchie E H, Yang J, Stella H, et al. Are there associations between grain filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? [J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(378): 2217-2224.
- [30] 史占忠, 贡显明, 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.
- [31] Ercoli L, Mariotei M, Masoni A, et al. Growth responses of sorghum plants to chilling temperature and duration of exposure[J]. European Journal of Agronomy, 2004, 21(1): 39-103.
- [32] Kato M C, Hikosaka K, Hirose T, et al. Photoinactivation and recovery of photosystem II in *Chenopodium album* leaves grown at different levels of irradiance and nitrogen availability[J]. Functional Plant Biology, 2002, 7: 787-795.
- [33] 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.
- [34] 张美华. 低温对玉米生理生化的影响及耐低温浸种剂的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [35] 闫世江, 张继宁, 刘洁. 茄子幼苗耐低温性生理机制研究[J]. 西北植物学报, 2011, 31(12): 2498-2502.
- [36] Veselov D S, Kudoyarova G R, Kudryakova N V, et al. Role of cytokinins in stress resistance of plants [J]. Russ J Plant Physiol, 2017, 64(1): 15-27.
- [37] Waldman M, Rikin A, Dorrat A, et al. Hormonal regulation of morphogenesis and cold-resistance [J]. Journal of Experimental Botany, 1975, 26(6): 853-859.
- [38] 蔡志欢, 张桂莲. 水稻低温冷害研究进展[J]. 作物研究, 2018, 32(3): 249-255.
- [39] 扈光辉, 张志武, 杨德光. 玉米耐低温冷害研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(33): 1-7.
- [40] Bechoux N G, Bernier P, Lejeune. Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize[J]. Plant and Cell Environment, 2000, 23(1): 91-98.
- [41] Croser J S, Clarke H J, Slddigue K H N, et al. Low-temperature stress: Implications for chickpea improvement[J]. Critical

- Reviews in Plant Sciences,2003,22(2):185-219.
- [42] Boyer J S,Mclaughlin J E. Functional reversion to identify controlling genes in multigenic responses: analysis of floral abortion[J]. Journal of Experimental Botany,2007,58(2): 267-277.
- [43] 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.
- [44] 刘玲,郭建平,高素华. 低温、干旱并发对玉米影响的评估研究[J]. 气象,2006,32(4):116-120.
- [45] 郭春明,任景全,曹铁华,等. 春玉米穗分化期低温对产量构成因素的影响[J]. 应用气象学报,2018,29(4): 505-512.
- [46] Mohamed A A S,Christ P T. Statistical modeling of emission factors of fossil fuels contributing to atmospheric carbon dioxide in Africa[J]. Atmospheric and Climate Sciences,2019,3(9):438-455.
- [47] 王冬冬,朱海霞,李秀芬,等. 未来气候情境下黑龙江省玉米低温冷害特征分析[J]. 黑龙江农业科学,2018(2): 20-23.
- [48] 何奇瑾,周广胜. 我国玉米种植区分布的气候适宜性[J]. 科学通报,2012,57(4):267-275.
- [49] Quan R,Shan M,Zhang H,et al. Improved chilling tolerance by transformation with betA gene for the enhancement of glycinebetaine synthesis in maize[J]. Plant Science (Oxford),2004,166(1):141-149.
- [50] Li H Y,Li C G,Gong M. Short-term cold-shock at 1 °C induced chilling tolerance in maize seedlings[J]. Energy Procedia,2011,11:2148-2154.
- [51] Aroca R,Juan J I,Manuel S D. Drought enhances maize chilling tolerance. II. Photosynthetic traits and protective mechanisms against oxidative stress[J]. Physiologia Plantarum,2003,117(4):540-549.
- [52] 马跃芳. 杂交水稻抽穗后伤流液中游离氨基酸含量的变化[J]. 植物生理学通讯,1989(6):41-43.
- [53] 高妙真. 玉米冷害机理及化学控制防御的效应[J]. 东北农业大学学报,1989,20(4):295-299.
- [54] 张毅,戴俊英. 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.
- [55] Chen W P,Li P H. Membrane stabilization by abscisic acid under cold aids proline in alleviating chilling injury in maize (*Zea mays* L.) cultured cells[J]. Plant, Cell and Environment,2002,25(8):955-962.
- [56] Serkan E. Androsterone-induced molecular and physiological changes in maize seedlings in response to chilling stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry Ppb,2012, 57:1-7.
- [57] 张梦婷,刘志娟,杨晓光,等. 气候变化北京下中国主要作为农业气象灾害时空分布特征[ I ]:东北春玉米延迟型冷害[J]. 中国农业气象,2016,37(5):599-610.
- [58] 刘旭,王子洋,刘松. 黑龙江省的低温冷害天气及其对水稻和玉米的影响[J]. 林业勘察设计,2014(3): 40-45.

## Disaster Mechanism and Prevention Measures of Maize Chilling Damage in Heilongjiang Province

SUN Lei, WANG Li-hua, GAO Zhong-chao, LIU Bu-ming, TONG Yu-xin, ZHANG Lei, WANG Shuang, CHANG Ben-chao

(Soil Fertilizer and Environment Resource Institute of Heilongjiang Agricultural Academy of Sciences, the Key Lab of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Harbin 150086, China)

**Abstract:** Heilongjiang Province is a large agricultural province and the main corn producing area. In the north of China, there are few heat resources and great climate variability, so maize is easy to suffer from low temperature and cold damage. Chilling damage at low temperature will destroy the integrity of membrane structure, cause obvious changes in chloroplast morphology, abnormal reproductive organs and functions, strengthen the irreversible decomposition of protein, produce harmful substances and so on, affect the growth and development of maize, delay the filling, reduce the filling rate, and reduce the yield. In this paper, the discrimination index, harm, scope, damage mechanism, prevention and improvement measures of low-temperature cold damage were discussed, and the prospect was put forward in order to provide reference for the development of low-temperature cold damage prevention and control in the future.

**Keywords:** maize; chilling damage; prevention; measures