



# 农作物低温冷害 综合防御技术研究

王春乙 郭建平 主编

气象出版社

# 前 言

频繁的农业气象灾害严重地破坏着人类赖以生存的粮食、水和能源条件及生态环境,对世界各国社会经济产生了巨大的不利影响,尤其是给农业生产造成了严重的威胁。中国地处东亚季风区,是世界上主要的“气候脆弱区”之一,也是农业气象灾害的多发地区,各类自然灾害连年不断,直接危及我国的国民经济发展和人民生命安全。我国主要的农业气象灾害有干旱、涝渍、冷害、冰雹、森林火灾和霜冻等。由于以上各类农业气象灾害的频繁发生,加之目前农业气象灾害防御技术水平十分有限,使我国农业生产始终处于不稳定状态。据统计,从1951~1980年我国粮食单产的实际年际波动平均为5.1%,最大波动年达到17.6%。因此,如何采用先进的农业气象灾害防御技术,有效地防御和控制农业气象灾害的影响,是直接关系到我国12亿人口生存的重大问题,亦是实现我国“九五”农业发展战略目标,确保我国农业生产持续稳定发展的关键因素。为此,国家科委在“九五”期间设立了“农业气象灾害防御技术研究”项目,该项目共有8个专题,分别为:

01 专题:农业干旱综合应变防御技术研究

02 专题:抑蒸集水防旱抗旱集成技术研究

03 专题:农业涝渍灾害防御技术研究

04 专题:森林火灾防御和扑救技术研究

05 专题:人工增雨农业减灾技术研究

06 专题:农作物低温冷害综合防御技术研究

07 专题:人工防雹减灾技术研究

08 专题:霜冻灾害综合防御实用技术研究

本书是该项目06专题“农作物低温冷害综合防御技术研究”近3年研究的初步成果,该专题的主要研究内容包括4个子专题,分别为:

01 子专题:防御低温冷害的最佳农作物播期判别与结构配置技术研究

该子专题的主要研究内容为:根据不同的气候年型,选择适宜的栽培品种,主动防御低温冷害对玉米产量的影响;根据播种期气温(或地温)的预测结果,决定玉米的最佳播种时间,充分做到适时早播,利用农业气候资源,使玉米提早成熟,减轻后期低温对玉米的影响;充分考虑当前农业生产水平、经济政策及各种农业措施,利用气候优势,确定在不同气候区域内玉米品种的合理搭配,躲避低温冷害的影响;根据农业气候资源高效利用和作物高产稳产原理,以防御低温冷害为前提,确定东北地区农作物种植的最佳结构配置。

02 子专题:新型增温助长剂和稀土益植素的研制和应用技术研究

该子专题的主要研究内容为:在分析和总结多年应用的增温助长剂和稀土益植素的基础上,研制出更新换代产品,使之增温、助长、促早熟效果较原有产品更显著;进行大田对比试验,确定最佳的喷施时间、剂量以及有关的操作技术,充分做到低成本、高效益;进行药剂剂的低温处理试验,检验药剂在低温条件下的增产作用以及对玉米生理过程的影响。

03 子专题:东北地区农作物低温冷害发生规律及指标体系研究

该子专题的主要研究内容为:研究东北地区农作物低温冷害的发生规律及时空分布特征;

研究玉米低温冷害的指标体系;研究低温冷害对玉米影响的机理等。

#### 04 子专题:综合防御低温冷害的应用技术集成研究

该子专题的主要研究内容为:综合集成主动防御低温冷害的战略性措施和被动防御低温冷害的应急补救措施,以及现有的农业技术措施,通过综合集成和优化分析,建立和完善防御低温冷害的科学技术体系。通过该体系的建立和使用,可以充分合理地利用农业气候资源,避免因低温冷害对玉米造成的损失,做到无低温冷害的年份高产稳产,有低温冷害的年份损失大幅度减轻。

参加本专题研究的有:中国气象科学研究院、黑龙江省气象科学研究所、吉林省气象科学研究所、辽宁省气候中心、沈阳农业大学及中国科学院大气物理研究所等单位的 20 多位科研人员。本专集共收集了近 3 年来以上研究内容的 30 篇论文,由于时间较紧,有些成果还不成熟,望读者在阅读过程中给予指正。

刘玲女士为本论文集的出版做了大量工作,谨表以深切的谢意。

编 者

1999 年 1 月

# 目 录

## 一、低温冷害发生规律及地域分布特征研究

|                                      |                |
|--------------------------------------|----------------|
| 玉米低温冷害机理研究综述 .....                   | 高素华(1)         |
| 东北地区低温冷害的分布特征 .....                  | 王春乙 毛飞(9)      |
| 近 40 年东北地区低温冷害发生规律的研究 .....          | 毛飞 高素华 庄立伟(17) |
| 东北地区网格温度场的计算与分析 .....                | 毛飞 高素华(27)     |
| 热带和中纬太平洋海温异常对东北夏季低温冷害影响的诊断分析研究 ..... | 郑维忠 倪允琪(33)    |

## 二、玉米品种熟型鉴定及合理搭配技术研究

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| 黑龙江省玉米品种布局的农业气候依据 .....           | 姜丽霞 孙孟梅 于荣环等(41) |
| 玉米“大双覆”增温效应的动态分析与品种选择 .....       | 任宪章(51)          |
| 玉米生育期热量指标及其不同品种栽培北界的研究 .....      | 孙孟梅 姜丽霞 于荣环等(56) |
| 东北三省玉米品种搭配的决策研究 .....             | 罗新兰 刘新安 国力等(66)  |
| 东北三省玉米生育热量指标与品种熟型分布研究 .....       | 罗新兰 国力 刘新安等(75)  |
| 吉林省玉米生长季冷暖年出现的概率与品种熟型搭配 .....     | 袭祝香 马树庆 刘玉瑛(83)  |
| 吉林省 80 年代以来热量资源的地理分布及作物品种布局 ..... | 刘玉瑛 马树庆 袭祝香(90)  |

## 三、玉米适宜播期判别技术研究

|                                              |                  |
|----------------------------------------------|------------------|
| 利用环流因子预测东北地区春季玉米的始播期 .....                   | 袭祝香 马树庆 刘玉瑛(96)  |
| 温度对玉米生长和发育综合影响的评价模型 .....                    | 孙玉亭 孙孟梅 姜丽霞(100) |
| 东北玉米带农业生产热量条件的长期变化规律研究 .....                 | 马树庆 袭祝香 安刚等(109) |
| 东北地区 1998 年(4~5 月)播种期温度逐旬业务预报及其结果分析和验证 ..... | 宋青丽 郑庆林(117)     |
| 东北地区春季(4~5 月)播种期温度长期数值预报模式及其试验 .....         | 郑庆林 宋青丽(125)     |
| 模糊均生函数在东北主要产粮区春播期间气温预报中的应用 .....             | 安刚 马树庆(133)      |
| 东北地区玉米播期预报方法及应用 .....                        | 刘玉瑛 袭祝香 马树庆(138) |
| 东北夏季低温冷害的环流特征及预测的研究 .....                    | 周立宏 刘新安(143)     |

## 四、旱地作物结构配置技术研究

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| 东北地区主要作物气候生产潜力及主栽区的研究 ..... | 郭建平 高素华(149) |
| 东北地区农作物热量年型的划分及指标的确定 .....  | 郭建平 高素华(158) |
| 东北地区不同热量年型下旱地作物配置技术研究 ..... | 郭建平 高素华(165) |

## 五、低温对作物影响机理和增温助长剂配制及使用技术研究

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| 低温对玉米种子发芽的影响 .....     | 高素华 郭建平 王连敏等(175) |
| 低温对玉米生理过程的影响 .....     | 高素华 郭建平 张国民等(180) |
| 抗寒剂、稀土抗低温效应的试验研究 ..... | 高素华 郭建平 张国民等(186) |

新型玉米抗低温助长剂及使用技术试验研究 ..... 郭春明 马树庆等(191)

**六、低温冷害综合防御技术研究**

水稻生长发育综合动力-统计模拟模式的研究 ..... 王秋凤 刘新安 王伯伦等(197)

综合防御低温冷害应用技术系统集成的框架设计 ..... 张运福 班显秀(208)

农作物低温冷害综合防御技术研究进展 ..... 王春乙 郭建平(211)

# CONTENTS

## I. Study on the Regularity Rule of Chilling Damage and Its Spatial and Temporal

### Distribution Feature

- Summary of study on mechanism of chilling damage for corn ..... Gao Suhua(8)
- Study on distribution features of chilling damage in northeast China .....  
..... Wang Chunyi Mao Fei(16)
- Study on the regularity of chilling damage in northeast China in recent 40 years .....  
..... Mao Fei Gao Suhua Zhuang Liwei(26)
- The calculation and analysis of grid temperature field in northeast China .....  
..... Mao Fei Gao Suhua(32)
- Diagnostic study for impact of sea surface temperature anomalies over tropical and mid-  
latitude Pacific on summer low temperature cool damage in northeast China .....  
..... Zheng Weizhong Ni Yunqi(40)

## II. Study on Corn Variety Type Appraisal and Optimum Arrangement Techniques

- An agroclimatic basis for corn varieties arrangement in Heilongjiang province .....  
..... Jiang Lixia Sun Mengmei Yu Ronghuan et al(50)
- Dynamic analysis of elevated temperature effect and variety selection for corn  
“Dashuangfu” ..... Ren Xianzhang(55)
- Study on heat index in growing periods of corn and its north planting border of  
different varieties ..... Sun Mengmei Jiang Lixia Yu Ronghuan et al(65)
- The decision study on corn variety arrangement in northeast China .....  
..... Luo Xinlan Liu Xin'an Guo Li et al(74)
- Study on heat index of corn growth and development and distribution of variety types  
..... Luo Xinlan Guo Li Liu Xin'an et al(82)
- The probability of cool and warm years in growing season and variety type arrangement  
of corn in Jilin province ..... Xi Zhuxiang Ma Shuqing Liu Yuying(89)
- The geographical distribution of thermal resources since 1980s and variety types .....  
arrangement of corn in Jilin province .....  
..... Liu Yuying Ma Shuqing Xi Zhuxiang(95)

## III. Study on Discriminating Techniques of Suitable Sowing Time of Corn

- The forecasting of starting seeding time of corn by using circulation factors in  
northeast China ..... Xi Zhuxiang Ma Shuqing Liu Yuying(99)
- An evaluating model of comprehensive effect of temperature on corn growth and  
development ..... Sun Yuting Sun Mengmei Jiang Lixia(108)
- Study on long-term variation rule of thermal condition in corn belt of northeast China

|                                                                                                                                  |               |               |              |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------|-------|-------|
| .....                                                                                                                            | Ma Shuqing    | Xi Zhuxiang   | An Gang      | et al | (116) |
| 1998's seeding time soil temperature numerical prediction in northeast China and its                                             |               |               |              |       |       |
| verification .....                                                                                                               | Song Qingli   | Zheng Qinglin |              |       | (124) |
| A model for seeding time soil temperature in northeast China and its numerical                                                   |               |               |              |       |       |
| experiment .....                                                                                                                 | Zheng Qinglin | Song Qingli   |              |       | (132) |
| Application of fuzzy mean generating function model in prediction of seeding period                                              |               |               |              |       |       |
| temperature in the major corn area of northeast China .....                                                                      |               |               |              |       |       |
| .....                                                                                                                            | An Gang       | Ma Shuqing    |              |       | (137) |
| The forecasting method of corn seeding time and its application .....                                                            |               |               |              |       |       |
| .....                                                                                                                            | Liu Yuying    | Xi Zhuxiang   | Ma Shuqing   |       | (142) |
| Study on general circulation features and forecast of summer low temperature and cool                                            |               |               |              |       |       |
| damage in northeast China .....                                                                                                  | Zhou Lihong   | Liu Xin'an    |              |       | (148) |
| <b>IV. Study on Disposition Skill of Dry-Land Crops Structure</b>                                                                |               |               |              |       |       |
| Study on crop climatic potentiality and distribution region in northeast China .....                                             |               |               |              |       |       |
| .....                                                                                                                            | Guo Jianping  | Gao Suhua     |              |       | (157) |
| Thermal type division and indices determination in northeast China .....                                                         |               |               |              |       |       |
| .....                                                                                                                            | Guo Jianping  | Gao Suhua     |              |       | (164) |
| Study on disposition skill of dry-land crops under different thermal -year categories in                                         |               |               |              |       |       |
| northeast China .....                                                                                                            | Guo Jianping  | Gao Suhua     |              |       | (174) |
| <b>V. Study on the Impact Mechanism of Low Temperature on Crop, Heating and Foster Medicine Compound and Applying Techniques</b> |               |               |              |       |       |
| The impacts of low temperature on germination of corn seeds .....                                                                |               |               |              |       |       |
| .....                                                                                                                            | Gao Suhua     | Guo Jianping  | Wang Lianmin | et al | (179) |
| The impacts of low temperature on physiological process of corn .....                                                            |               |               |              |       |       |
| .....                                                                                                                            | Gao Suhua     | Guo Jianping  | Zhang Guomin | et al | (185) |
| The experimental study on low temperature-resistance effect of cool-resistance medicine                                          |               |               |              |       |       |
| and rare earth .....                                                                                                             | Gao Suhua     | Guo Jianping  | Zhang Guomin | et al | (190) |
| The experimental study on new cool-resistance and foster medicine nad applying                                                   |               |               |              |       |       |
| technique .....                                                                                                                  | Guo Chunming  | Ma Shuqing    | et al        |       | (196) |
| <b>VI. Study on Comprehensive Defending Technique to Chilling Damage</b>                                                         |               |               |              |       |       |
| Study on synthetic dynamic-statistical simulation model of rice growth and                                                       |               |               |              |       |       |
| development .....                                                                                                                | Wang Qiufeng  | Liu Xin'an    | Wang Bolun   | et al | (207) |
| Frame design of applying technique system integration of comprehensive defending                                                 |               |               |              |       |       |
| chilling damage .....                                                                                                            | Zhang Yunfu   | Ban Xianxiu   |              |       | (210) |

# 一、低温冷害发生规律及地域分布特征研究

## 玉米低温冷害机理研究综述

高 素 华

(中国气象科学研究院,北京 100081)

### 摘 要

文章主要介绍了 80 年代以来,玉米低温冷害机理研究概况。文中分为国内国外两部分。国外以前苏联为代表,主要研究低温冷害对玉米叶片含氮化合物、游离氨基酸、蛋白质、核酸含量及含磷化合物的影响。国内主要研究低温对玉米过氧化氢酶、过氧化物酶、同工酶、PEP 羧化酶、保护酶、超氧化物歧化酶、核酸含量和活力及可溶性蛋白质含量的影响;同时还研究了低温对光合作用、籽粒产量的影响,并给出了化学防御方法。

**关键词** 低温 玉米 冷害机理

本文着重介绍了 80 年代以来,关于低温冷害对玉米生长发育影响的生理机理研究概况。

玉米是世界性作物,种植范围广,面积大,占总种植面积的 16% 左右,产量占各种谷类作物总产的 22%,平均单产达  $2500\text{kg}/\text{hm}^2$ ,高于水稻和麦类等。

我国是世界主要玉米生产国之一,播种面积和总产量居世界第二位,仅次于美国。东北、华北、西北和西南是我国主要种植区,玉米不仅是人民群众主要口粮之一,而且也是主要的饲料粮,所以玉米生产在国民经济中占有重要地位。

低温冷害是玉米生产中主要的农业气象灾害之一,尤其是东北地区。所以进行低温冷害对玉米生长发育影响的研究,有重要的生产意义和社会意义。80 年代以来有关低温冷害的研究,可以说进入了一个新的阶段。由以往的冷害发生规律、时间分布、指标的划分等宏观研究,转入到以生理机制研究为主的阶段。本文收集了 80 年代以来国内外有关玉米低温冷害生理机制研究的文献,选出有代表性的研究内容,同时把研究方法和结果介绍给大家,对正在开展的“农业气象灾害防御技术研究”(国家科技攻关项目)将起到借鉴作用。

国内外的研究重点还是有所不同的,国外研究有代表性的国家是前苏联。本文在国外部分主要介绍了前苏联的研究情况。

### 1 前苏联关于玉米低温冷害生理机制的研究

研究重点是玉米在低温条件下的代谢过程变化,并强调经低温锻炼的种子和未经低温锻炼的种子及抗寒性不同的品种间的差异。研究大致可分以下几方面。

### 1.1 含氮化合物的代谢

表 1 是经低温锻炼和未经低温锻炼种子叶片中氮的含量,由表可见,种子经低温锻炼幼苗叶片氮的含量明显高于未经锻炼的含氮量。说明低温锻炼对氮代谢产生良好作用。

表 1 玉米叶片氮的含量(%,3~4 叶期)

| 氮的类型 | 抗寒品种  |      | 不抗寒品种 |      |
|------|-------|------|-------|------|
|      | 未锻炼种子 | 锻炼种子 | 未锻炼种子 | 锻炼种子 |
| 总 氮  | 1.54  | 2.45 | 1.26  | 2.52 |
| 蛋白氮  | 1.31  | 2.17 | 1.10  | 2.29 |
| 非蛋白氮 | 0.23  | 0.28 | 0.16  | 0.23 |

抗寒品种总氮和蛋白氮含量均高于对照,而不抗寒品种低于对照;两个品种非蛋白氮变化都不大,在 2℃ 条件下抗寒品种稍低于对照。

### 1.2 游离氨基酸的变化

种子经低温锻炼和植株经低温处理的叶片游离氨基酸的变化,抗寒品种和不抗寒品种有不同的变化趋势;抗寒品种种子低温锻炼伴随游离氨基酸量增加,而不抗寒品种则使游离氨基酸有少量减少,其中天门冬酰胺和天门冬氨酸变化最大。

### 1.3 蛋白质含量和组成成分

玉米叶片中难溶性蛋白质和碱性蛋白质在温度因素作用下都相当稳定,最敏感的是可溶性酸性蛋白质,玉米叶片中蛋白质含量在 2~4、5 叶期含量最高,随着株龄的增长,植株蛋白质含量均呈下降的趋势。

经零上低温(6℃)处理 24 小时的低温锻炼种子叶片中蛋白质含量高于对照,而未锻炼的低于对照;玉米植株经零下(-2℃)低温处理 6 小时后,两个品种种子经低温锻炼和未经锻炼的蛋白质含量均大幅度下降,在-2℃ 条件下,经 24 小时后蛋白质含量继续下降,说明这种情况下蛋白合成的破坏过程已不可逆。

综上所述,在低温作用下玉米植株的氮、氨基酸和蛋白质代谢受到破坏,破坏的性质和深度与低温强度和持续时间有关,微寒(零上低温)引起生长缓慢和出现保护性反应,这种反应表现在含氮化合物的积累、易溶性蛋白质的积累;严寒(零下低温)伴随蛋白质化合物的不可逆分解过程。

玉米种子低温锻炼引起氮、氨基酸和蛋白质代谢向着更加抗寒、具有保护性适应反应和提高抗冷性的方向调整。

### 1.4 核酸的含量

植物组织中核酸的生命合成及数量,决定于有机体的生理状况和个体发育的生长条件。

经 6 和 10℃ 低温处理的玉米叶片核糖核酸积累较多,去氧核糖核酸也有一定的积累,但变化幅度不大,核糖核酸与去氧核糖核酸的比值增大,抗寒品种变化幅度大于不抗寒品种。

### 1.5 含磷化合物的含量

在低温条件下植株生长停滞伴随着磷酸吸收的下降和代谢的缓慢,低温对磷进入核蛋白

的抑制最为强烈。冷冻土壤上的作物体内核蛋白成分的数量少,说明磷的不足对氮代谢和核酸含量产生很大影响。

经低温处理的玉米植株含磷化合物含量低于对照。经低温处理的抗寒品种含磷化合物含量高于未经低温处理的植株,且三磷酸腺苷活性较强,这对于确定抗寒程度有重要意义。

从上述介绍可以看出,前苏联关于玉米低温冷害生理机制的研究做了不少的工作,取得了有实际生产意义的结果。如播前对玉米种子进行低温锻炼有利于提高抗寒性,对生理代谢也起到了促进作用,这一研究结果很容易在生产中应用和推广。

## 2 国内有关玉米低温冷害生理机制的研究

我国 80 年代以来关于玉米低温冷害生理机制的研究主要集中在“酶”的研究上,而且多数研究是关于低温冷害对幼苗期酶的影响,生殖阶段的研究远少于苗期。

### 2.1 低温冷害对玉米幼苗期生理过程的影响

#### 2.1.1 低温对玉米幼苗过氧化氢酶、过氧化物酶、同工酶的影响

山西农业大学王金胜等采用具有不同抗冷性(抗冷性强的小黄玉米 295 和抗冷性弱的大白玉米 280)的玉米为试验材料,将玉米幼苗放在 4℃ 冰箱中处理,对照放在恒温箱中,4 天后将对照与处理共同置于 13℃ 室内生长。

试验结果表明:低温胁迫使两个品种的过氧化氢酶含量升高,280 的变化幅度大于 295 的变化幅度;低温使过氧化物酶活力下降,也是 280 的变化大于 295;在正常条件下,同工酶活力是随幼苗的生长而增加,在低温条件下两个品种的同工酶活力都呈下降趋势,但低温胁迫使幼苗叶片中的同工酶数量有所增加。

综上所述,玉米幼苗叶片中的过氧化氢酶、过氧化物酶、同工酶对低温是敏感的,可以作为玉米抗冷性的指标。

#### 2.1.2 低温对玉米叶片 PEP 羧化酶的影响

河北师范大学冯福生等通过试验得到:PEP 羧化酶在低温贮存时很不稳定,温度越低失活越快,且低温失活的速率与反应体系的 pH 值也有关,高 pH 值时失活较快。另外,低温也使 PEP 羧化酶调节特性减弱。Gly 是 PEP 羧化酶的变构效应剂,可提高 PEP 羧化酶的活性。但经低温(4℃)处理 48 小时后,Gly 的敏感性明显地减弱,减弱程度与低温贮存时间有关,随时间的延长敏感性减弱。

PEP 羧化酶低温失活和效应剂敏感性的减弱,是导致 C<sub>4</sub> 植物在低温下光合速率急剧下降的原因之一。同时这种现象如在植物体内发生则可能导致机体的代谢紊乱,最终影响玉米的正常生长发育并造成伤害。

#### 2.1.3 低温对玉米细胞保护酶活性的影响

张敬贤、张海明等将抗冷性不同(882014 抗冷性最强,881086 居中,881089 最差)的自交系玉米置于 4℃ 低温条件下 48 小时。经低温处理后细胞保护酶活性和胞质质量发生了有规律的变化,抗冷性差的品种过氧化氢酶、过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性降低,原生质层透性降低、膜脂过氧化水平增高;抗冷性强的品种细胞保护酶活性增高,原生质层透性和粘滞度显著增加,但膜脂过氧化水平未发生明显变化,说明保护酶活性和胞质质量与玉米幼苗抗冷性密切相关。

### 2.1.4 低温对叶片中核酸含量和核酸活力的影响

王茅雁(1989)采用田间分期播种和室内电导法鉴定相结合的方法,从10个玉米自交系中选出两个抗冷性有明显差异的自交系85—03(抗冷性较强)和85—40(抗冷性较弱)作为试验材料。将三叶期的玉米幼苗进行4℃低温处理,低温处理时间分别为12、24、36、48小时(处理48小时后,85—03出现轻微的冷害症状,而85—40则冻死了)。取经处理的幼苗第二片叶,测定核酸(RNA)和脱氧核糖核酸(DNA)含量和核酸酶的活力。经低温处理后,两个品种叶片核酸含量都有所减少,并随低温处理时间的延长使减少幅度有所增加。但两个品种减少幅度有明显的不同,处理48小时后85—40的RNA和DNA分别减少13.0%和11.7%;而85—03只减少7.2%和5.6%。抗冷性强的品种变化幅度小于抗冷性弱的品种,而且低温对RNA含量的影响大于对DNA的影响。

低温对抗冷性不同的品种的核酸酶活力的影响明显不同。耐冷性强的品种低温处理后核酸酶活力变化比较缓慢,随处理时间延长活力逐渐增强;而耐冷性弱的品种低温处理后核酸酶活力变化十分迅速,处理36小时后,其RNase和DNase分别比对照增强了110.9%和95.8%,而85—03处理48小时后才分别增强了17.2%和19.8%,这进一步说明低温对抗冷性弱的品种的影响大于对抗冷性强的品种的影响。

通过试验还得到了在低温条件下,核酸含量与核酸酶活力呈负相关的关系,说明核酸含量减少与核酸酶活力的增强有密切关系。

综上所述,低温促使玉米体内核酸含量减少,不仅与合成受阻有关,而且应考虑分解作用增强因素;低温引起核酸酶活力增强有两个途径:一是低温促使酶的数量增加,二是低温直接诱导酶的比活力增强,且比活力增强为主导因素。

### 2.1.5 低温对玉米幼苗可溶性蛋白质含量的影响

内蒙古农牧学院对不同抗冷性自交系进行低温处理后,测定叶片中总可溶性蛋白质含量及细胞质、叶绿体、线粒体中可溶性蛋白质的含量。结果两个抗冷自交系(85—03、85—20)和两个不抗冷自交系(85—15、85—40)在4℃低温期间可溶性蛋白质变化趋势基本一致,均先增加后减少,但不抗冷自交系的变化幅度大于抗冷自交系。

87—49(抗冷性强)细胞质中可溶性蛋白质随低温时间的延长,含量逐渐减少,而叶绿体和线粒体中却是先增加后减少,不抗冷的87—42三个部分的可溶性蛋白质含量,都随时间的延长而逐渐减少,减少程度依次为线粒体>细胞质>叶绿体。

综上所述,低温对细胞内不同部位的影响是不同的。总的说来,低温对不耐冷自交系的影响大于对耐冷自交系的影响,尤其不耐冷自交系的线粒体和细胞质受低温影响最为严重,而叶绿体受低温影响最小。耐冷自交系正好相反,很可能叶绿体在玉米耐冷性中具有积极作用。

植物在低温下既可能有蛋白质的合成,也可能有蛋白质的降解。低温下蛋白质发生降解而不伴随有新的合成是产生冷害的原因。蛋白质的不足或蛋白质分解产物的毒害引起冷害。4℃低温胁迫对玉米幼苗蛋白质代谢影响是以促进降解作用为主。不耐冷自交系由于在低温条件下蛋白质降解严重,并且无新的耐冷蛋白质合成,所以其冷害程度严重。

## 2.2 低温对玉米生殖生长期间生理过程的影响

低温对玉米生殖生长期间生理过程的影响的研究少于对幼苗期的研究。这可能有两个原因,一是玉米生殖生长期间因个体高大进行低温处理相对比幼苗期困难(设备的限制),二是玉米发生冷害多数是延迟性冷害,受害时期多为幼苗期,因此,研究的重点为幼苗期。但80年代

以来,低温对生殖生长期间光合作用、叶面积、籽粒产量及超氧化物歧化酶活性等的影响,还是有一些报道的。

### 2.2.1 低温对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

沈阳农业大学张毅等采用丹玉 13 号玉米杂交种,对孕穗期和抽雄后 20 天的玉米在 E-15 型人工气候箱内进行 10℃ 低温处理 5 天,以 25℃ 为对照,测定了处理和对照玉米叶片和雌穗 SOD 的活性和电解质外渗率。低温降低了 SOD 的活性,两个发育期变化趋势一致,但孕穗期的变化幅度明显大于灌浆期,雌穗的变化大于叶片。

低温使玉米组织电解质外渗率增加,变化趋势与 SOD 的变化趋势一致,说明孕穗期对低温更敏感。低温的伤害雌穗比叶片更为严重。

作者还测定了籽粒 SOD 活性、膜脂过氧化作用、籽粒 SOD 的 7 种同工酶的变化及低温对籽粒超微结构的影响。

在生育后期遇低温时,作物生殖生长受阻,对籽粒生理代谢有直接影响。籽粒超微结构遭到破坏,对物质代谢产生影响。灌浆期低温对籽粒产生直接伤害,是导致玉米生育受阻的主要原因。

低温下细胞膜系统损伤是遭受低温伤害的重要原因。低温下玉米籽粒细胞结构变形现象说明膜系统损伤(即超微结构的破坏和变形)。膜系统破坏与膜脂过氧化作用增强有关。低温下 SOD 活性下降,自由基大量积累,是引起膜脂过氧化作用增强的重要原因。

### 2.2.2 低温对玉米光合作用的影响

苏正淑等对丹玉 13 号抽雄后 20 天的玉米植株进行 10℃ 低温(5 天)处理,以 25℃ 为对照,测定叶片气孔阻力、叶绿素含量、光合速率。

低温(10℃)对光合速率影响很大。在孕穗期处理叶片比对照光合速率下降 78.3%;灌浆期下降 48.3%,孕穗期的影响大于灌浆期。低温胁迫使孕穗期叶绿素含量降低 20.81%,气孔阻力增加 138.96%。灌浆期叶绿素含量处理比对照低 13.0%,气孔阻力高 72.53%。由此可见,气孔阻力对光合作用的影响大于对叶绿素的影响。

叶绿体是进行光合作用的细胞器。叶绿体的结构是否完整对光合作用有直接影响。低温胁迫使叶绿体造成损伤,叶绿体膜消失或破裂,基粒片层结构模糊不清,有的基粒片层结构的分布发生变化,由垂直于膜向堆积变为平行于膜向堆积。

### 2.2.3 低温对玉米籽粒的伤害

上述已经介绍了低温胁迫使雌穗 SOD 活性下降,同工酶活性改变。另外是各类同工酶在总酶活性中的比例的变化,尤其是主要同工酶  $\alpha_1$  的改变对籽粒的影响是十分重要的。

低温处理后,使籽粒可溶性糖和游离氨基酸含量增加,但淀粉和蛋白质含量降低,生物大分子含量下降,意味着灌浆过程受阻,籽粒发育受到抑制。

玉米在生殖生长期受到低温胁迫导致光合速率下降,植株叶面积减小(处理比对照下降 10% 左右),引起植株光合生产能力降低,进而影响产量。但低温胁迫对孕穗期和灌浆期的影响不同。孕穗期遭受低温胁迫,因光合产物供应不足,抑制了雌花分化,导致每穗小花数减少,败育花增加,影响了穗有效粒数,使产量大幅度下降;而灌浆期光合产物生产的下降,主要影响籽粒中物质的积累,使百粒重下降,造成籽粒产量降低。

## 2.3 低温对玉米生长发育的影响

80 年代以后关于这方面的研究和文献都很少。1993 年刘惠芝进行了分期播种试验。供试

品种为沈单三号、丹玉6号、铁单五号,从3月31日开始每隔10天播种一期,共8个期次,每期3个重复,进行发育期、株高、灌浆速率等项目观测,得到以下试验结果:

### 2.3.1 低温对玉米生长发育的影响

播种—出苗:玉米从播种到出苗所需天数主要受温度制约。播种—出苗所需有效积温为79.8℃,生物学下限温度为9.3℃;日平均气温15℃左右,所需日数为15~20天;平均气温在12.8~16.8℃时产量最高,平均气温低于10℃时严重减产。

出苗—吐丝:出苗—吐丝的日数随平均气温升高而缩短,尤其拔节以后更为明显。拔节—吐丝平均气温高于24℃为宜,低于24℃产量就要受影响,低于23℃就会受害造成减产。

吐丝—成熟:吐丝—成熟期间平均气温在20℃以上,积温达1000℃·d,百粒干重可达29g以上。灌浆期积温300℃·d,并通过试验观测得到灌浆曲线为:

$$Y = \frac{103.2}{1 + e^{3.5 - 0.12x}}$$

式中,Y为相对百粒重;x为吐丝后天数。快速灌浆阶段(吐丝后第13天~45天)籽粒重(y)与日平均气温(T)有以下关系:

$$y = -0.0034 + 0.00143T$$

### 2.3.2 温度对产量的影响

刘惠芝用16个期次的分期播种试验资料得到产量与温度的关系:

$$Y' = -1285.98 + 10.60x_1 + 76.63x_2$$

式中,Y'为产量的回归估计值; $x_1$ 为播种—出苗的平均气温; $x_2$ 为吐丝—成熟的平均气温。通过上式可知,播种—出苗平均气温降低1℃产量就会减少10.6kg,吐丝—成熟平均气温降低1℃产量减少76.6kg。吐丝—成熟期低温对产量的影响,远大于播种—出苗期低温对产量的影响。

## 2.4 防御玉米低温冷害的研究

80年代以来,关于玉米低温冷害防御技术研究的主要特点是,防御技术以化学方法为主。化学制剂的选用是在研究了低温对玉米生理过程影响的基础上,针对低温对玉米不同生长时期的受害机理,采用不同化学制剂进行调节生理过程以达到新的生理平衡,从而提高玉米的抗冷性,减轻低温对玉米生产的危害。

下面介绍几项研究结果:

高妙真在研究了玉米低温对幼苗生长后期糖代谢及淀粉酶影响的基础上,采用喷施乙稀利和矮壮素的方法防御冷害取得了明显的效果。

玉米前期冷害使淀粉酶活性受抑制,淀粉转换速率缓慢,糖代谢强度降低;后期冷害主要是叶绿素含量下降,直接影响光合作用,减少了光合产物,抑制淀粉酶活性,降低了淀粉合成速率,推迟成熟,导致大幅度减产。

根据上述生理过程,在玉米雄穗分化早期施用低剂量(200~600g/hm<sup>2</sup>)乙稀利,可使产量平均增加8%~10%。用100ppm\*的乙稀利喷施可早抽穗、早开花4天,避开后期低温。叶面喷施600~1200ppm浓度时,生育后期,叶片仍保持鲜绿,功能延长,乳熟末期穗位绿叶数比对照多18%,穗位以下多1.88%,经济系数高3%,叶茎比为1.15,对照为0.85,由于同化器官面

\* 此处表示某成分的体积分数为10<sup>-6</sup>,下同

积大,有效地提高了光能利用率,达到了增产的目的。

喷施矮壮素(早玉米拔节期叶面喷洒 0.25%的矮壮素每亩\* 50kg)可增产 33.8%,早熟 7 天左右。用浓度 0.25%的矮壮素,浸种 6~10 小时,可增产 20%。喷施矮壮素最佳浓度为 0.2%~0.3%,最佳时期为拔节期和大喇叭口时期。

另一项有效的工作是沈阳农业大学张毅等的研究,他们在研究了 SOD 酶活性与玉米低温伤害的关系基础上,采用喷洒化学药剂提高 SOD 活性,进而达到提高玉米的耐冷性。

在低温条件下,玉米组织中 SOD 活性下降并且生长中期 SOD 对低温的敏感性高于后期,生殖器官比营养器官对低温更敏感。所以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的 SOD 活性,从而提高植物耐冷性。

具体喷洒方法如下:

对抽穗后第 21 天和孕穗期的玉米叶片分别喷洒  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,以喷水为对照,喷洒 10 天后测定 SOD 活性。处理的两个时期叶片和雌穗的 SOD 活性比对照都呈增加趋势,其中以  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  效果最为明显, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  效果不显著。对籽粒重的影响大小分别为  $\text{KH}_2\text{PO}_4 > \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} > \text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,而  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  效果仍不显著。

综上所述,玉米在中后期遭低温冷害危害后,及时喷洒有关化学药剂可起到减轻危害程度、减少损失的作用。

最后顺便介绍一下国外较新的研究成果。

J. Amer 用适当浓度的麦夫迪处理玉米幼苗,结果表明:麦夫迪对植株生长和发育有利。他认为在叶面喷洒麦夫迪可使玉米幼苗在低温中得到保护。这种保护作用是通过在低温期间减少叶面积损伤和增加叶面积生长量来实现的。经麦夫迪处理的幼苗,低温处理后株高高于对照且较健壮,可促进提前 6 天开花(10ppm 麦夫迪处理),另外麦夫迪在低温环境中可以改变原生质膜的透性。麦夫迪低浓度处理对受低温胁迫后的幼苗株高、干、鲜重,提早开花有促进作用,但浓度过高反而会起到抑制作用,J. Amer 认为最适宜浓度为 5~10ppm,可见麦夫迪在农业上可能有很大的价值,但是还有些问题有待研究,如发育阶段是否影响喷施效果?重复喷施和喷施一次效果是否一致等?还有待进一步研究。

本文对 80 年代以来有关玉米低温冷害的研究概况做了扼要的介绍,可以看出,80 年代低温冷害研究的重点是生理过程的变化,由于篇幅的限制主要介绍了试验结果,如有不当之处以原文为准。

#### 参 考 文 献

- [1] 王金胜等,低温对不同抗冷性玉米幼苗  $\text{H}_2\text{O}_2$  及其清除酶类的影响,山西农业大学学报,1993,13(3):240~243
- [2] 冯福生等,低温对玉米叶片 PEP 羧化酶及其调节特性的影响,植物生理学报,1992,18(1):45~49
- [3] 王茅雁,低温对玉米幼苗叶片中核酸含量和核酸酶活力的影响,华北农学报,1989,4(4):28~33
- [4] 王茅雁等,低温对玉米幼苗可溶性蛋白质含量与合成的影响,内蒙古农牧学院学报,1990,11(2):133~137
- [5] 张敬贤等,低温对玉米幼苗细胞保护酶活性及胞质质量参数的影响,华北农学报,1993,8(3):9~12
- [6] 张毅等,灌浆期低温对玉米籽粒的伤害作用,作物学报,1995,21(1):71~73

\* 1 亩=666.67m<sup>2</sup>,下同

- [7] 苏正淑等,低温对玉米光合作用及叶面积和籽粒产量的影响,辽宁农业科学,1990,5:22~24
- [8] 刘惠芝,低温对玉米及产量的影响,辽宁农业科学,1993,2:42~43
- [9] 高妙真,玉米冷害机理及化学控制防御的效应,东北农学院学报,1989,20(4):295~299
- [10] Н. С. Минустина и др, 裴碧梧译, Устойчивость растений к неблагоприятным температурным условиям среды, Киев: Изд. Наука, 1976: 45~76

## Summary of Study on Mechanism of Chilling Damage for Corn

Gao Suhua

(Chinese Academy of Meteorological Sciences)

### Abstract

The paper mainly introduced the summary of study on mechanism of chilling damage to corn from 80's. It is divided 2 parts: domestic and overseas. The representation of overseas is the former Soviet Union. The main study of them was the impact of chilling damage on nitrates, free amino acid, protein, nucleic acid content and phosphide in corn leaves. The main study in home was the impact of chilling damage on catalase, peroxidase, isoenzyme, PEP carboxylase, erythrocyte protein, nucleic acid content and vitality, protein content. At the same time, the impact of low temperature on photosynthesis and grain yield was studied, and the chemistry defending method was given.

**Key words** Low temperature; Corn; Mechanism of chilling damage

# 东北地区低温冷害的分布特征

王春乙 毛 飞

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 摘 要

本文统计了东北地区50个站1951~1995年历年5~9月的月平均温度和( $T_{5\sim9}$ ),以距平值( $\Delta T_{5\sim9}$ )为主,确定了能客观、真实地判断某地、某一年是否发生一般低温冷害和严重低温冷害的临界指标值,计算了各站历年的一般低温冷害和严重低温冷害指示值。使用经验正交函数分析了东北地区低温冷害的时域分布特征,分析结果与实际情况基本一致。采用方差极大旋转经验正交函数分离出东北地区一般低温冷害和严重低温冷害的三种地域分布类型。它们分别是以绥芬河为中心的南部型、以黑山为中心的西南型和以海伦为中心的北部型。

**关键词** 低温冷害 指标 分布特征

## 1 引 言

东北三省是我国主要粮食生产基地,然而,由于生长季热量条件的年际波动较大,该区的粮食生产受到低温冷害的制约。1969、1972和1976年三个严重冷害年粮豆产量均较上一年减产50亿~65亿 kg,占年产量的17%~22%。该区低温冷害发生频率也较高,是农业生产中的一个严重问题。我国自70年代以来,对东北地区低温冷害发生规律及时空分布特征的研究已取得许多成果。他们的研究工作大部分是从确定低温冷害指标着手,进一步用统计方法计算低温冷害发生的频率,再分析低温冷害频率在空间上的差异性,白人海等采用了经验正交函数方法,分解出的前四个特征向量最大限度地表征了东北地区低温冷害的变率结构,但不能很好反映该地区低温冷害异常的地域特征及地域相关分布状况。王春乙等用同样的方法研究了华北地区春季干湿状况的时空分布。本文通过使用更新、更完整的资料(50个站,1951~1995年资料),确定一套更具合理性和实用性的低温冷害指标,采用可以表征冷害异常地域结构及地域相关的旋转经验正交函数,对东北地区低温冷害的分布特征作进一步的分析和研究。方差极大旋转经验正交函数分解方法在旱涝分析中已得到应用,但在冷害研究中的应用尚属空白。

## 2 资料及处理

收集了东北地区50个站1951~1995年的气温、纬度和海拔高度资料,统计出各站历年和多年平均5~9月的月平均温度和。

### 3 低温冷害指标的确定

经统计,东北地区粮豆的气象产量与生长季5~9月的月平均温度和( $T_{5-9}$ )的相关最好,即粮豆总产的波动在很大程度上是由 $T_{5-9}$ 的年际变化引起的。因此,有理由将5~9月的月平均温度和的距平( $\Delta T_{5-9}$ )作为低温冷害指标。从农业生产角度出发,5~9月是东北农作物的主要生长季,用 $\Delta T_{5-9}$ 作低温冷害指标具有实际生产意义。东北地区地域辽阔,南北跨度大,境内海拔高度差异显著,各地热量条件明显不同。因此,区域内不能用同一个临界指标值来定义是否出现低温冷害,即各地具有不同的低温冷害临界指标值。通过统计分析,各地的低温冷害临界指标值与当地的纬度和海拔高度存在很好的线性关系,并可用定量的公式表示如下:

$$Y = -8.6116 + 0.1482(X + 0.0109H) \quad (1)$$

$$W = -18.3029 + 0.3270(X + 0.0109H) \quad (2)$$

式中, $X$ 为纬度( $^{\circ}$ ); $H$ 为海拔高度(m); $Y$ 和 $W$ 分别为一般低温冷害临界指标值和严重低温冷害临界指标值。当某地某一年的 $\Delta T_{5-9}$ 小于 $Y$ 值时,则出现一般低温冷害,小于 $W$ 值时,则出现严重低温冷害。我们按公式(3)和(4)算出各站历年的一般低温冷害指示值和严重低温冷害指示值:

$$CDY = \Delta T_{5-9} - Y \quad (3)$$

$$CDW = \Delta T_{5-9} - W \quad (4)$$

式中, $CDY$ 和 $CDW$ 分别为一般低温冷害指示值和严重低温冷害指示值,当 $CDY \leq 0$ 时,则出现一般低温冷害,当 $CDW \leq 0$ 时,则出现严重低温冷害。

### 4 低温冷害的时域分布特征

近40多年来,东北地区低温冷害发生的频率较高,农业产量受到严重影响。本文从单站和全区域两个角度分析和讨论东北地区近40多年来低温冷害的时域分布特征。

研究表明,东北地区各地与长春之间的生长季总热量呈高度正相关,因此,可以用长春站的资料来分析东北地区低温冷害的年际变化。图1给出了长春一般低温冷害指示值和严重低温冷害指示值的年际变化。由图1(a)可见,长春近45年来出现严重低温冷害的年份有1957、1969、1972和1976年,约为11年一遇,其中最为严重的是1969、1972和1976年。这3年东北地区的粮豆产量大幅度下降。自70年代后期至今,长春处于暖期,没有发生过严重低温冷害。图1(b)显示出长春自1951年以来的45年中,共出现了9次一般低温冷害,分别是1953、1954、1957、1960、1969、1971、1972、1976和1992年,为5年1遇。主要出现在50年代和60年代末至70年代中。70年代中期以后的近20年中,只出现过一次一般低温冷害。图1还表明,长春严重低温冷害出现的频率约是一般低温冷害的一半,即在所有的低温冷害年中,严重冷害占了约一半。

为了定量描述东北地区全区低温冷害的年际变化,我们以50个站1956~1995年的一般低温冷害指示值为原始数据阵,对其作经验正交函数分解,其中第一特征向量表现的是东北地区一般低温冷害多年平均的分布型态(图略),其时间系数则代表东北地区区域性的一般低温冷害年际变化。用这些时间系数作为该区域的一般低温冷害指数,由于它们表示的是区域平均状况,且具有比区域平均值更大的方差,因此能清晰地反映出全区的冷害时域特征。

图2给出了东北地区一般低温冷害指数距平的年际变化特征。我们定义距平值小于-1.5