

# 解冻速率对作物霜冻害的影响\*

何维勋 冯玉香 夏满强

(中国农业科学院农业气象研究所,北京 100081)

## 提 要

用人工霜箱研究霜冻危害.霜箱温度控制在 $-1-1^{\circ}\text{C}$ ,分别模拟解冻速率为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ 和 $1.6^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ 时的辐射霜夜缓慢降温过程.结果表明霜冻危害程度受作物种类、冻结温度、结冰进程和解冻速率的影响.在某些条件下,缓慢解冻可能使受冻组织恢复,但在另一些条件下则不能.对于不同耐霜性的作物,防霜的着眼点应该是不相同的.

关键词:霜冻;作物耐霜性;解冻速率.

## 1 引 言

结冰危害机理的研究能为防御霜冻提供科学依据. J. Sachs<sup>[1]</sup>对冰冻植物死亡原因的研究认为,对植物起致死作用的并不是冰冻,而是冰冻之后的解冻.如果缓慢解冻则细胞可以恢复;反之,迅速解冻则引起死亡.这种“解冻伤害”学说被农业气象工作者普遍接受,并用于指导防霜作业.许多农业气象著作都用这个理论去阐明霜冻对农作物危害的机理.认为植物组织结冰后,如果早晨阳光直接照射,温度急剧回升,胞间的冰融化成水并迅速蒸发,植物便枯萎死亡;如果缓慢解冻,胞间的水能被细胞重新吸收,受冻组织能恢复生长.因此强调熏烟防霜作业需要将烟幕维持到日出后1.5—2小时<sup>[2,3]</sup>.

“解冻伤害”学说虽然被许多著作所引用,但是它不能圆满解释田间霜冻的许多现象,而且也未能为另外一些试验所证实.所以,后来的研究者对这个问题做了更深入的研究,相继提出一些新的学说<sup>[4]</sup>.80年代初Palta<sup>[5]</sup>及其合作者们提出“生物膜伤害”学说,认为结冰首先伤害原生质膜和液泡膜,使它们失去半透性,大量电解质和糖外渗,主动运输酶系统失去活性,最后膜系统破坏,细胞死亡.这个学说以许多严格的试验为基础,有充足的科学依据,能够较圆满地解释许多现象,已经得到比较广泛的传播.

结冰对生物膜的伤害有一个发展过程,解冻后冻结组织能不能恢复,以及伤害的严重程度都取决于包括农业气象条件在内的许多因素.研究它们之间的关系,可能促进认识的深化,并为确定防霜重点、改进防霜作业提供依据.

## 2 材料和方法

用黄瓜(中农 5 号)、蕃茄(京粉 65 号)、青椒(海花 3 号)、菜豆(供给者)、豌豆(解放)、油菜(矮抗青)、芹菜(北京实心)、西瓜(郑州 3 号)、甘薯(胜利百号)、茄子(九叶茄)、小白菜(小杂 55 号)、甘蓝(中甘 11 号)、小松菜(圆叶任生菜)、大白菜(北京 106)、玉米(四单八)、烟草(NC89)及棉花(中棉 12 号)做供试材料. 在北京冬春季节于塑料钵内育成小苗, 株高 10cm 左右移入人工霜箱<sup>[5]</sup>进行控制试验. 叶片上安放测温元件, 并通过数据采集系统连续监测叶温变化. 图 1 是 1988 年 8 月

27 日实测的玉米叶温变化曲线. 在人工霜箱内冷源作用下叶温缓慢下降, 当叶温降到  $T_1$  时, 胞间开始结冰. 因结冰数量大, 释放潜热多, 叶温突然升高, 在短时间内升到最高值  $T_2$ . 我们把从  $T_1$  到  $T_2$  这个温度跃升时期定为结冰进程的第一阶段. 接着是温度基本稳定时期, 定为第二阶段. 这个阶段细胞间仍有水结成冰, 但数量不多, 释放的潜热与叶片的散热基本相同, 所以叶温变化不大. 随后温度逐渐下降, 定为第三阶段. 此时细胞液中未结冰的水已经很少, 它的水汽压与冰面水汽压处于动态平衡状态. 当温度下降一定值时, 未结冰的水才能再冻结一点, 释放潜热少而散热多, 叶温逐渐下降.

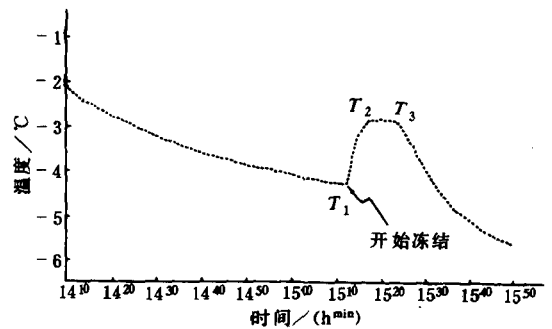


图 1 模拟霜冻时的玉米叶温变化曲线

通过调控装置, 分别在第一、二、三阶段模拟早晨的升温过程. 于  $-1-1^{\circ}\text{C}$  时升温速率又分为两种, 一种是迅速升温 ( $1.6^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ ), 相当于清晨有阳光照射的情况; 另一种是缓慢升温 ( $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ ), 与遮光条件下的升温相近. 升到  $10^{\circ}\text{C}$  后移入室温下, 连续三天观察受伤状况.

为了研究在较高温度下胞间结冰造成的伤害状况, 根据结冰温度与冰核活性细菌的关系<sup>[7]</sup>, 采用接种冰核菌的方法, 诱导叶片在比较高的温度下发生结冰.

## 3 结果分析

试验结果表明, 霜冻害与冻结温度、结冰进程和解冻速率的关系依作物而异, 因此把供试作物分为三类, 归纳出各类的特点.

(1) 不耐霜冻的作物: 对组织内结冰十分敏感, 一旦冰晶形成, 细胞就受到致命的伤害. 以甘薯为例, 在结冰发展到第三阶段时, 模拟缓慢升温(图 2a), 结果叶片受害而死; 在第二阶段模拟缓慢升温(图 2b), 也无可挽回地死亡; 在第一阶段模拟缓慢升温时(图 2c), 叶片也变黑死亡. 经过反复试验, 即便在开始结冰后才 2min 就模拟升温, 叶片也都无例外地受害死亡. 因此可以认为这种作物是极不耐霜冻的, 一旦组织内发生结冰, 生物膜体系就会受到不可逆的破坏而导致细胞死亡<sup>[5]</sup>. 除甘薯外, 黄瓜、西瓜和棉花也属于这一类.

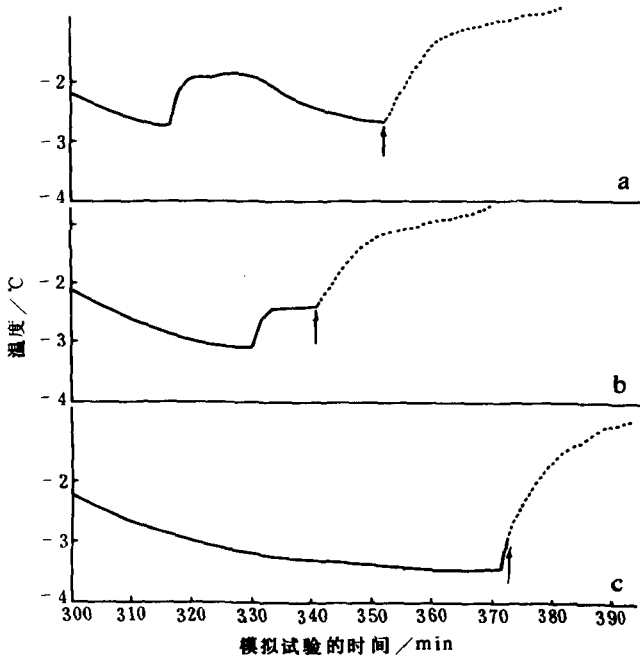


图2 模拟甘薯缓慢解冻的温度变化曲线

(a)第三阶段缓慢升温(b)第二阶段缓慢升温(c)第一阶段缓慢升温(↑表示模拟升温的时间)

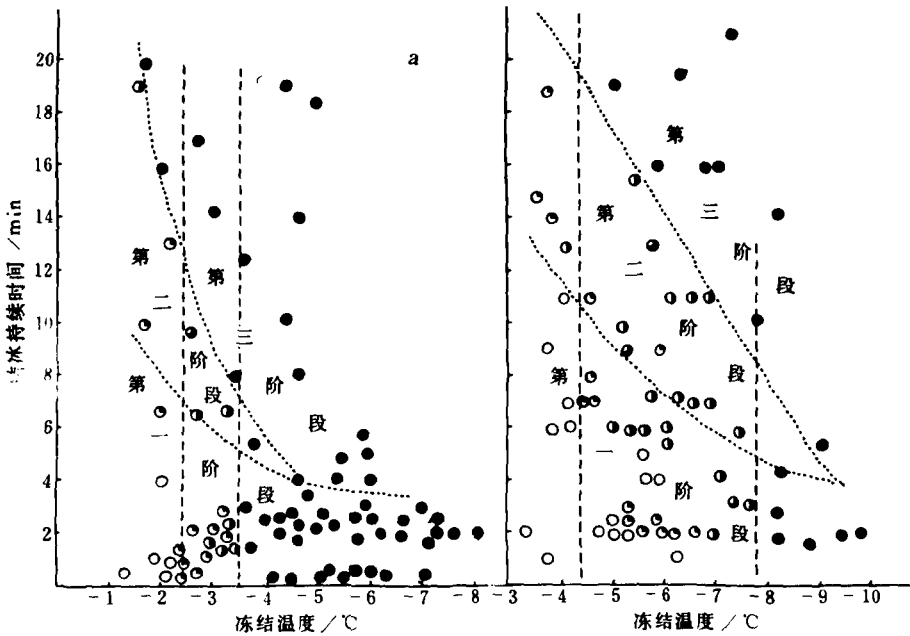


图3 冻结温度、结冰持续时间与菜豆(a)、烟草(b)霜冻害的关系图(S为叶片冻死面积)

○:  $S=0$ , ●:  $3/4 < S \leq 1, 3/4$  ●:  $1/2 < S \leq 3/4, 1/2$  ●:  $1/4 < S \leq 1/2, 1/4$  ●:  $0 < S \leq 1/4$

(2)中度耐霜冻的作物:在冻结温度较高和结冰进程的第一、第二阶段,缓慢升温后常常不显露伤痕或只有轻伤.反之,冻结温度较低或结冰到达第三阶段就受害死亡.以菜豆为例(图 3)当冻结温度在 $-2.4^{\circ}\text{C}$ 以上时,于结冰的第一、第二阶段模拟缓慢升温,则能够完全恢复生长而无伤痕,或发生轻伤,叶片上散布不规则的小枯斑;于第三阶段模拟缓慢升温,虽然最低温度没有降到 $-2.4^{\circ}\text{C}$ 以下,叶片也受害而死.当结冰温度在 $-2.5$ — $-3.5^{\circ}\text{C}$ 时,于第一、第二阶段模拟缓慢升温,多数出现轻伤,少数中度受伤,个别重伤;迅速升温则多数死亡;于第三阶段模拟缓慢升温,叶片也全部死亡.冻结温度在 $-3.6^{\circ}\text{C}$ 以下时,不论在什么阶段模拟升温,也不论升温有多慢,叶片都受害而死.因此可以认为这种作物的生物膜系统对组织内结冰有一定的忍耐能力,在冰晶造成的胁迫没有超过一定限度时,生物膜的变化是可逆的,超过一定限度则发生不可逆的变化而死亡<sup>[8]</sup>.

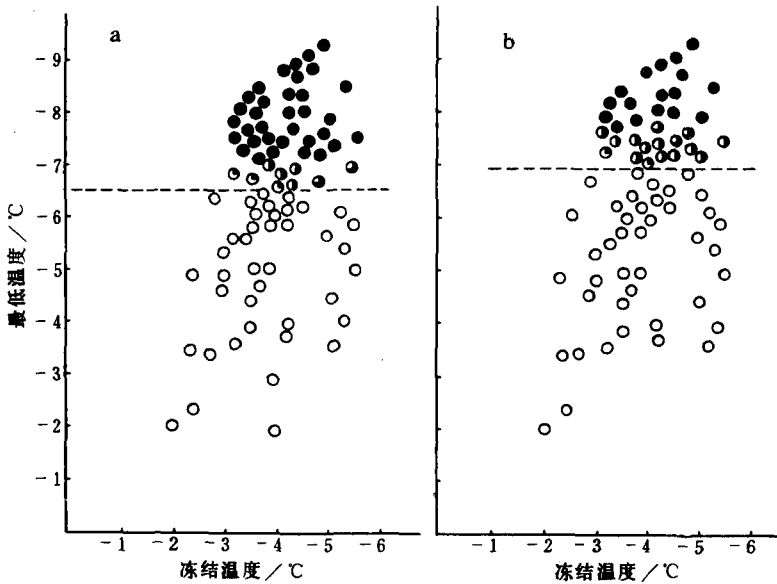


图 4 冻结温度、最低温度与甘蓝(a)、大白菜(b)受害程度的关系(说明同图 3)

供试作物中的蕃茄、玉米、茄子、青椒、烟草和菜豆都可以归入这一类.

(3)耐霜冻作物:对组织内结冰有相当强的忍耐力,只要温度不太低,升温后都能完全恢复生长.以甘蓝为例,组织内的水发生结冰后,在结冰的第一、第二阶段模拟升温,不论升温快慢,都能恢复生长而不出现伤痕.只有在结冰进程达到第三阶段,而且叶片温度降到 $-6.5^{\circ}\text{C}$ 以下,解冻后才表现出部分组织褐变或全叶死亡.在一定的温度范围内,缓慢解冻有显著减轻伤害作用(图 4).在供试作物中,可归入这一类的还有小松菜、大白菜、小白菜、豌豆、油菜和芹菜,能忍耐的低温强度变化在 $-5.8$ — $-7.9^{\circ}\text{C}$ 之间.需要指出的是,虽然这些作物在苗期有很强的耐冻能力,但是进入生殖生长阶段之后,这种能力将迅速降低,特别是它们的花对霜冻相当敏感.因此,苗期以外的生育阶段,霜冻害与冻结温度、结冰进程和解冻速率的关系另当别论.

## 4 讨 论

(1)在田间霜夜的降温速度和低温强度下,作物体内发生结冰后,是否发生伤害和伤害的严重程度受作物种类、冻结温度、结冰进程和解冻速率等多种因素的影响.被广泛引用的“解冻伤害”学说并不是普遍正确的.对于中度耐霜冻的作物,在冻结温度较高、结冰处于第一和第二阶段的条件下,它能够解释霜冻的某些现象;但是,在其它情况下,它就不能为实际所证实.比如,不耐霜冻的作物发生结冰后,不论冻结温度高低和结冰进程早晚,解冻速率快慢都不能恢复生长.中度耐霜冻作物发生结冰后,在冻结温度较高但结冰已进入第三阶段的,或冻结温度稍低而不管结冰处于什么阶段的,即使缓慢解冻也不能恢复生长.耐霜冻作物,只要温度不太低,迅速解冻也能完全恢复.

(2)对于不同类型的作物,防霜的着眼点应该是不同的.不耐霜冻的作物,对体内结冰十分敏感,一旦冰晶形成,细胞就受到致命的伤害,所以防霜冻的着眼点应该是防止组织内结冰.中度耐霜冻的作物,对胞间结冰有一定的忍耐能力,防霜首先应着眼于减慢降温速度,阻止组织内发生结冰;其次是如果发生了结冰,但冻结温度较高、结冰处于第一、二阶段,则设法避免早晨迅速升温,也能减轻伤害甚至恢复生长.耐霜冻植物在营养生长阶段对结冰有较强的忍耐能力,遇到轻度和中度的霜冻低温都不必进行防霜.防霜的着眼点应该是遇到强度霜冻低温时设法阻止温度的迅速下降和减慢早晨的升温速度.阻止组织内水分结冰的途径有两个,一是用覆盖、加热、搅动等办法提高叶温,使植株不能结冰或冻结株数减少;二是用化学的或生物的方法除去冰核活性细菌,破坏冰核活性物质,使植株因缺乏冰核而保持过冷却状态.比如用抗霜剂一号喷洒黄瓜苗,在 $-3^{\circ}\text{C}$ 以下发生霜冻植株比对照少67%;用抗霜素一号喷洒玉米苗,在 $-3.7^{\circ}\text{C}$ 下霜冻害减轻61%.

## 参 考 文 献

- 1 马克西莫夫 H. A. 马克西莫夫院士选集. 周小民译. 北京:科学出版社,1962. 27—31.
- 2 西涅里席科夫 B. B. 普通农业气象学. 北京农业大学译. 北京:高等教育出版社,1959. 105—110.
- 3 奇尔科夫 IO. II. 农业气象学基础. 方至译. 北京:气象出版社,1987. 126—128.
- 4 Levitt J. Freezing temperature responses of plants to environmental stress. New York: Academic Press, 1979. 1: 67—290.
- 5 Palta J. P., K. G. Jensen, P. H. Li. Cell membrane alterations following a slow freeze-thaw cycle: ion leakage, injury and recovery. Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. New York: Academic Press, 1982. 2:221—242.
- 6 冯玉香. 黄瓜霜冻与冰核活性细菌的关系. 园艺学报,1990,17(3):211—216.
- 7 何维勋,冯玉香,孙福在等. 防御霜害新途径的研究. 灾害学,1990,(1): 14—19.
- 8 张石城编著. 植物的抗寒生理. 北京:农业出版社,1990. 62—73.

## EFFECTS OF THAWING RATE ON FROST INJURY OF CROPS

He Weixun Feng Yuxiang Xia Manqiang

(Agrometeorological Institute, C. A. A. S., Beijing 100081)

### Abstract

The frost injury is studied by means of the artificial frost-box with the temperature of  $-1-1^{\circ}\text{C}$ . The slow radiative cooling process in the frost night are simulated with the thawing rates of  $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{min}$  and  $1.6^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ , respectively. It was shown that the severity of frost injury is affected by variety of crop, freezing temperature, freezing process and thawing rate. Under some conditions the frozen tissue may be recovered by means of slow thaw, but, under otherwise conditions it may not. For the varieties of crops with different frost tolerance, the focus of attention to prevention of frost damage should be distinct.

**Key words:** Frost; Crop tolerance of frost; Thawing rate.

---

### 1994 年《应用气象学报》征订启事

《应用气象学报》是由中国气象局中国气象科学研究院、国家气象中心、卫星气象中心联合主办的气象科学技术与应用研究的综合性学术期刊。

《应用气象学报》提供了有关我国气象科技领域内研究和应用成果的最新论文、资料、方法等大量信息,以及国内外现代科技的新理论与新技术在气象学中应用的研究论文及信息。《应用气象学报》已被北京大学收录为中文核心期刊,并被美国气象学会的“气象与地球天体物理学文摘”(MGA)和美国国际科学应用协会(SAIC)以及中国地理科学文摘摘录。主要栏目有论著、短论、专题评述、学术动态、书刊评介等。《应用气象学报》将成为广大气象科研人员、业务技术人员、大专院校师生及研究生,海洋、航空、水文、环保、农业及计算机应用技术等专业人员学术交流的窗口,是您们的可靠朋友。

《应用气象学报》为季刊,每季中月出版,每期 128 页,全年 4 期共 24.00 元(含邮资)。欲订购者请向中国气象局情报所或本编辑部索取订单。地址:北京市白石桥路 46 号中国气象局情报所发行组(邮政编码:100081)。