

# 霜凍防禦及其預報

別 尔 夏 特 著  
克 拉 西 科 夫

农 业 出 版 社

4615

# 霜冻防禦及其預報

別尔夏特  
克拉西科夫 著

华北农业科学研究所編譯委員會  
元 以 志 譯

江 爱 夏 卢 其

农 业 出 版 社

## 內 容 提 要

本書係作者在沃耶科夫地球物理觀象總台的研究材料，以通俗科學形式敘述了危險霜凍的一般知識，霜凍時的氣象狀況及霜凍預報方法，霜凍防禦法的物理基礎以及保護植物免遭霜凍的各種措施。供農業技術、氣象觀測工作者參考。

М. Е. Берлянд

П. Н. Красиков

## БОРЬБА С ЗАМОРОЗКАМИ И ИХ ПРЕДСКАЗАНИЕ

Гидрометеиздат

Ленинград 1953

根據蘇聯國立水文氣象出版社  
1953年列寧格勒俄文版本譯出

## 霜 凍 防 禦 及 其 預 報

〔蘇〕 別爾良特 著  
克拉西科夫

元 以 志 譯

江愛良 盧其亮校

農 業 出 版 社 出 版

北京老錢局一號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第106號)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海新华印刷厂印刷裝訂

統一書號 13144·20

1955年5月原財經部型

1955年5月初版

1963年11月上海第四次印刷

印數 7,001—8,000冊

開本 787×1092 毫米

三十二分之一

字數 74千字

印張 三又十六分之十三

定價 (10)四角八分

# 目 錄

|                      |    |
|----------------------|----|
| 編者的話 .....           | 6  |
| 序言 .....             | 7  |
| 第一章 危險霜凍的一般知識 .....  | 11 |
| 危險霜凍的定義 .....        | 11 |
| 臨界溫度 .....           | 12 |
| 夜間冷卻的原因 .....        | 13 |
| 促成霜凍出現的條件 .....      | 19 |
| 霜凍的頻率 .....          | 19 |
| 危險霜凍的強度和延續時間 .....   | 20 |
| 必須提高的溫度 .....        | 22 |
| 第二章 霜凍預報 .....       | 25 |
| 霜凍預報的方法 .....        | 25 |
| 霜凍預報的新方法 .....       | 29 |
| 第三章 氣象服務 .....       | 43 |
| 小型氣象觀測站和氣象站的觀測 ..... | 44 |
| 氣象資料的利用 .....        | 45 |
| 第四章 霜凍防禦法的物理基礎 ..... | 48 |
| 露天增溫時霜凍削弱的原因 .....   | 49 |
| 燠煙時霜凍削弱的原因 .....     | 53 |
| 第五章 露天增溫 .....       | 66 |

|                  |    |
|------------------|----|
| 可能的露天增溫法         | 66 |
| 固體燃料在露天增溫時的使用    | 67 |
| 尼基弗洛夫式增溫器        | 68 |
| 露天增溫時燃料用量標準的規定   | 70 |
| 增溫器的熱效應和燃料的用量標準  | 71 |
| 增溫器的佈置和增溫的實施     | 73 |
| 風的影響             | 76 |
| 最小的地段面積          | 77 |
| 坡地增溫的特點          | 78 |
| 尼基弗洛夫式增溫器的特性及其改善 | 79 |
| 結論               | 80 |

## 第六章 人工烟幕 .....82

|              |    |
|--------------|----|
| 發烟物質和發烟方法    | 83 |
| 可燃的發烟混合物     | 86 |
| 可燃的發烟混合物的研究  | 88 |
| 發烟混合物的製造     | 89 |
| 熱效應和用量標準     | 90 |
| 保護前的準備和燠烟的實施 | 91 |
| 發烟劑的加熱昇華     | 95 |
| 結論           | 97 |

## 第七章 烟堆燠烟 .....99

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 燠烟的材料             | 101 |
| 烟堆的堆積             | 101 |
| 熱效應               | 102 |
| 烟堆的數量及其在被保護地段上的分佈 | 103 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 烟堆的燃燒.....                   | 105        |
| 結論.....                      | 106        |
| <b>第八章 植物在霜凍後的逐漸解除霜凍 ...</b> | <b>107</b> |
| 應用逐漸解除霜凍的條件.....             | 108        |
| 早晨燠烟的特點和烟的選擇.....            | 108        |
| 發烟用品的用量.....                 | 109        |
| 利用燠烟來逐漸解除霜凍.....             | 110        |
| 早晨發烟的準備和實施.....              | 110        |
| <b>第九章 灌溉法；燠烟法和增溫法的混合</b>    |            |
| 使用 .....                     | 112        |
| 灌溉法.....                     | 112        |
| 燠烟法和增溫法的混合使用.....            | 114        |
| <b>參考文獻 .....</b>            | <b>118</b> |
| <b>譯後記.....</b>              | <b>121</b> |

## 編 者 的 話

克服危險霜凍是獲得農作物高額而穩定產量的重要條件之一。可是這一極重要的問題，各科學研究機構並沒有給予應有的注意，使獲得有效地解決。

直到現在，還沒有出現過一本專門論著，來敘述實踐中應用霜凍防禦法及其發展前途的科學評價。在某些個別著作中，只是憑經驗確定了某些削弱霜凍方法的實效，對於所獲得的結論在另一些與試驗條件相異的天氣條件下的應用，却沒有給予理論上的綜合。許多研究工作還存在着比較嚴重的缺點。在這些研究工作中，一般還沒有注意到氣象條件；如果不考慮這些條件，那末可靠而有效地防禦霜凍是不可想像的。

本書第一次試圖以廣大讀者易於了解的形式，對於危險霜凍的頻率和延續時間給以氣候學的評價，敘述防禦霜凍的物理基礎並介紹克服霜凍的最有效的途徑和方法。其中還敘述了別爾良特 (М. Е. Берлянд) 所研究的根據單站觀測來預報霜凍的新方法。

許多問題，都是作者根據他們在沃耶科夫地球物理觀象總台親自研究的材料加以敘述的。這就使本書具有新穎的通俗科學作品的特點。關於作者所積累的材料的一些理論上的綜合以及他們對防禦措施在氣象服務方面的某些介紹，還沒有在實踐中獲得足夠的證實，還需要在大農場中進行廣泛的生產上的檢驗。雖然如此，但是本書對我們無疑會有所裨益。本書能幫助我們去組織霜凍的防禦，去研究消除霜凍對農作物有害影響的更完善和更簡便的新方法。

## 序 言

在黨第十九次代表大會關於 1951—1955 年蘇聯發展第五個五年計劃的指示中指出，“農業方面的主要任務，今後仍然是提高一切農作物的產量……”。

為了實現第五個五年計劃關於進一步發展農業的任務，必須把最高的技術和先進的農業措施應用到實踐中去。在各種為保證高額而穩定產量的措施中，具有巨大意義的，是防禦下列有害天氣現象——旱災、乾旱風、霜凍、雨淞、雹災等等。

還在 1928 年，約·維·斯大林曾經說過：“如何才能去掉像旱災、霜凍等這些對於某些地區的收穫具有決定性意義的因素呢？”（“斯大林全集”，第11卷，第261頁）

保護植物免遭霜凍，可以大大地幫助產量的提高和許多有價值的喜溫作物（柑橘類、果樹、葡萄）的廣泛發展。

為了減少霜凍所帶來的損失，我國在很久以前，就已經在哪些方面進行了廣泛的研究和實踐工作。

首先，蘇維埃農業生物學，由於遵循着先進的米丘林學說，而在培育抵抗低溫的植物新品種方面獲得了顯著效果。

現在，已有一系列的貴重作物的抗寒品種被廣泛引用到實踐中去了。可以相信：在最近，這些工作還會獲得更宏大的規模，並在頗大程度上能消除各種植物遭受霜凍的威脅。

同樣，也可以用改善植物營養和應用專門農業技術的方法，進行提高植物抗寒性的工作。為了削弱農作物地區的嚴寒危險，正確地考慮田園中的小氣候，具有重大的意義。

此外，旨在尋求如何減輕霜凍時溫度急劇降低的方法面

進行的工作具有重大的意義。霜凍防禦法的有效應用，能顯著減少農業生產上的損失，同時也能顯著地擴大南方貴重作物和它們抗寒新品種的栽培地區。

本書只是研究與後一方面工作有關的問題。

現今，已有許多人爲的方法，能在大面積上減弱霜凍時溫度的急劇降低，例如：用燃燒各種固體和液體燃料的方法而形成的露天增溫，烟幕的應用和烟堆燻烟等等。

蘇聯在試驗和研究這些方法中曾達到巨大的成就。在1941年以前，全蘇濕潤亞熱帶科學研究所和索琴試驗場(B. C. 拉夫里殊克，C. B. 姆加洛勃里什維里，Г. Б. 納達拉亞，B. П. 尼基弗洛夫，Г. Т. 謝良尼諾夫)以及列寧格勒實驗氣象研究所(B. Л. 加也夫斯基，П. Н. 克拉西科夫，Б. В. 基柳新，Н. П. 魯辛，И. С. 謝麥諾夫等人)，就已經在霜凍防禦法的研究方面獲得了重要的結果。

近年來，在沃耶科夫地球物理觀象總台(ГГО)，在本書作者、И. А. 郭里茨別爾格和 M. И. 尤金的參加下，曾進行了霜凍防禦方法的研究和擬訂。在該台的工作中，曾綜合了蘇聯研究工作者們獲得的經驗，並研究出了解決這一重要問題的新方法。這種方法在於研究霜凍防禦法的物理—氣象學的基礎，在於鑑定由氣象條件決定的各種方法的效果並估計出蘇聯各個氣候區域內霜凍的危險性。

蘇聯正逐年加強對霜凍防禦問題的注意。1950年10月17日蘇聯農業部技術委員會關於開展柑橘類植物霜凍防禦工作的決定，具有重大的意義。蘇聯科學院的一些研究所——地球物理研究所、植物生理研究所、物理化學研究所等，已經開始了霜凍防禦方法的研究和應用。

截至目前為止，以往進行的各種研究的結果，都已經編寫成各種科學論文，或專題手冊了。這些結果分析得還不充分，並且某些作者之間還有分歧。此外，論文中所敘述的結論，常有一些非一般人所能了解的、複雜的理論計算和論證。

本書以通俗科學書籍的形式，對於危險霜凍及其防禦方法的物理基礎，作了一般的說明；並敘述了保護植物免遭霜凍的各項措施。本書的讀者對象是各級農業工作者、氣象觀測工作者等等。而它的主要部分是供農業氣象工作者之用的，因為他們要幫助生產者在大農場上組織霜凍的防禦。

本書的基礎是作者在沃耶科夫地球物理觀象總台的研究結果。

本書除敘述了實行防禦措施上的實際知識以外，還介紹了防禦霜凍的有效器材的研究和設計。這是由於現在霜凍防禦的專門器材的生產還沒有開展，新的器材還沒有在生產上進行大規模的試驗，同時在氣象服務方面還沒有充分保證。

許多的介紹，都是供給現在從事霜凍防禦研究的各種專家之用的，例如生理學家、物理—化學家、熱力工程學家、農業氣象學家、設計家等等。

一些技術性介紹的目的，在於引起衆多的工作人員對這一重要問題的興趣。其中某些人對這一複雜問題還可能產生出新的思想並給予簡易的技術解決，而使霜凍防禦方法更加完善。

在所研討的霜凍防禦法被廣泛運用到實踐中以後，自然就需要進行更廣泛的工作，它將包含對保護植物免遭低溫毀滅性影響的所有最重要的指示。

本書簡要地敘述了霜凍在蘇聯的特點，引用了氣象學上

的一些基本定義，研討了霜凍預報的方法，簡略地敘述了應用霜凍防禦法的物理基礎，並對氣象服務的組織工作也作了說明。

這些問題均列入前四章中。在後五章中，係研討在採用大規模保護植物免遭霜凍的主要方法時的措施。

本書着重說明霜凍時的氣象狀況，幾乎沒有涉及到低溫來臨時與植物習性有關的某些生理學上的問題。同時，也沒有研討各種個體的或集團的掩護方法；而這些方法的效果，在頗大程度上是決定於被掩護植物所特有的生理過程。

至於其他的霜凍防禦方法，只簡要地敘述了種植場灌水法。這種方法現時還未作充分研究，並且作者也沒有材料來比較充分地敘述灌水法在霜凍防禦上的效果。

## 第一章 危險霜凍的一般知識

### 危險霜凍的定義

一般常常認為霜凍就是土壤溫度的短時間降低或近地面空氣層的溫度低於零下。

但是，這種對霜凍的定義，在農業實踐說來是不夠的；因為溫度低於零下，對於許多作物甚至喜溫作物來說，很少是危險的。

只有這樣的寒冷才能造成對植物的威脅，就是說，當溫度已經低於每種植物和該植物發育階段的一定的臨界數值時。因此，只有能使農作物受害的短時間的寒冷，才稱作危險霜凍；正因為如此，才使農業工作者特別注意。

根據引起短時間寒冷的原因，霜凍可分為三種類型：

1. 平流霜凍，這是由於冷氣團從別處流入該地（平流過來）而發生的霜凍。這種霜凍，一般在春初和秋末溫度普遍低下的情況下出現。在許多作物的生長期中，這種類型的霜凍很少發生。因此，平流霜凍在許多場合下都不是危險的。

2. 輻射霜凍，這是在夜間土壤表面和植物表面由於放射（輻射）而損失熱量引起地方性冷卻所造成的。這種寒冷，一般在溫度較高時，很少值達到足以使喜溫作物蒙受嚴重損失的程度。

3. 平流輻射霜凍（混合霜凍），這是由於在或長或短的溫

暖時期之後，由於冷空氣從外邊流入該地，隨後又因夜間輻射而引起冷卻作用所發生的。在這種情況下，由於平流和輻射過程的相互作用而加強了溫度的降低。

但是，由於有了危險霜凍的概念，那末在實踐上就失去了劃分上述三類霜凍的必要。實際上，試驗證明：在現今農作物分佈的情況下，危險霜凍主要是在一年中這樣的時期——即在純粹平流冷卻或純粹輻射冷卻尚未達到臨界溫度的時候，就已經開始了。

危險霜凍大體上具有平流—輻射的特點。這種霜凍發生的原因，通常是由於在春季和秋季極地冷氣團的侵襲所造成的；這就能引起溫度急劇降低，而在夜間溫度冷卻時更能使之加強。危險霜凍一般只是在夜間開始，但時常也會在清晨開始。因此，它們有時也被稱為夜霜凍或晨霜凍；但是，這些名稱，並沒有表現出與造成植物毀滅的臨界溫度的關係，所以也是不完整的。

## 臨 界 溫 度

引起生長着的植物凍結以及部分或全部死亡的最低溫度稱為臨界溫度。危險霜凍就是空氣冷卻到臨界溫度以及臨界溫度以下的意思。以後所講的霜凍，均指危險霜凍而言。

各種作物的臨界溫度有着不同的數值；甚至同一植物，在不同的生長和發育階段中，它們也是互不相同的。

現在，對於使植物受損害的臨界溫度的問題，還很少研究。只是在某些對短時間寒冷最為敏感的作物方面，有若干可靠的資料。表1所列的，是幾種貴重的喜溫作物的臨界溫度的數值。

臨界溫度

表 1

| 作物           | 受凍部位 | 臨界溫度      |
|--------------|------|-----------|
| 檸檬           | 全株   | -9°, -10° |
|              | 樹冠   | -7°, -8°  |
|              | 葉部   | -6°       |
| 葡萄           | 盛開芽  | -1°       |
|              | 花    | 0°        |
| 酸櫻桃, 梨,<br>李 | 花蕾   | -4°       |
|              | 花    | -2°       |
|              | 幼果   | -1°       |
| 耐櫻桃          | 花    | -2°       |
|              | 幼果   | -1°       |
| 棉花           | 成熟鈴  | -1°, -2°  |
| 黃瓜           | 幼苗   | -2°       |
| 瓜類           | 花    | -1°       |

## 夜間冷卻的原因

夜間冷卻，可以看作是危險霜凍的直接原因，因為它可使平流降溫顯著加劇，這就決定了溫度會降低到臨界溫度以下。

由此可見，防禦霜凍時的必要措施主要應當在夜間實行。它們應當保證要使近地面空氣層的冷卻作用減弱。霜凍防禦法的物理基礎的研討，在於研究近地面空氣層的熱狀況（тепловой режим）及其調節的可能性。

夜間溫度降低的原因是些什麼呢？

在晴朗無雲的時候，地面溫度有着極其明顯的日變化；最高溫度出現在午後 1—2 小時，最低溫度出現在太陽初昇前後。因此，近地面空氣層的冷卻在午後就已經開始了；並由於

大氣和土壤中垂直溫度不穩定的分佈，使得冷却作用一直繼續到日落之後。白天和晚間的溫度差越大，日落後夜間冷却也就越大。

夜間溫度降低的主要原因是下墊面（這裏是指地面——校者）熱量因長波輻射（或稱熱輻射）而損失所致。地面向周圍空間輻射的能量和黑體相同，其熱量的損失等於  $E = \sigma(273 + T_0)^4$ ；此處  $(273 + T_0)$  為地面絕對溫度， $\sigma$  為斯蒂芬-波茲曼常數。但是，對地面來說，不是全部的輻射能都喪失在宇宙空間。這種輻射能大部分為大氣所阻，這主要是由於大氣中存有水汽和二氧化碳的緣故。然而大氣不僅只吸收地面的輻射，並且它本身也向地面放射着熱輻射。全部大氣層向地面的總輻射量稱為大氣的逆輻射（противонизлучение）。一般在晴朗的天空，它等於  $E = \sigma(273 + T_0)^4$  的 70—80%。 $E$  與大氣逆輻射之間的差值稱為地面的有效輻射。空氣中的濕度越小，就是說大氣中的水汽越少，則大氣逆輻射也越小而有效輻射就越大。

地面有效輻射的數值（卡/平方厘米，分鐘）同 2 米高的溫度和濕度數值之間的關係，見表 2。

如果天空為密而低的雲層所遮蔽，那末大氣的逆輻射就會增加，而有效輻射就會大大減少。低雲和中雲所發出的熱輻射，幾乎和黑體相同。因此，雲層越高，並且雲底的溫度越低，那末雲層所放射的輻射也越小，因而地面有效輻射也越大。

雖然全部大氣層的逆輻射在下墊面的輻射平衡中是十分重要的，但是較薄空氣層因長波輻射而損失的能量是不大的。所以近地面空氣層的輻射冷却比下墊面的冷却要小得多。

地面有效輻射

表 2

| 高度(米)<br>溫度 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ~10°        | 0.13 | 0.12 | 0.11 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| - 5         | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.12 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0           | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.12 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5           | 0.16 | 0.16 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |      |      |      |      |      |      |
| 10          | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.11 |      |      |      |      |
| 15          |      | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |      |      |
| 20          |      |      | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.10 |      |
| 25          |      |      |      |      | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |
| 30          |      |      |      |      |      | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.11 |

由於有效輻射主要是地面冷卻，故下墊面溫度的降低會引起其附近的空氣層和土壤層的冷卻。

由於夜間下墊面是冷卻的，因而從下墊面不論向上或向下溫度總是逐漸增加的。

反之，在白天，溫度隨高度的增加而下降。因此，下墊面的溫度日變最大。距離地面越遠，溫度的日變就逐漸減小。圖 1 所示的例子，是代表北高加索春季無雲時溫度的日變；圖 2 所示的例子，是夜間溫度的高度分佈。在緊鄰下墊面幾十厘米處的溫度，隨着高度的增加而迅速上升。距下墊面越遠，溫度的變化也愈小。

近地面空氣層的冷卻實際上是按熱量損失程度而定。在室內靜止的空氣中，熱量交換一般是藉助於分子的導熱而進行的。在大氣中，分子導熱所起的作用是較小的。大氣中的熱量交換主要是藉經常處在其中的空氣渦旋而實現的；這些渦

旋處在連續運動的狀態中，並能使各層空氣強烈混合。這些渦旋一般是看不見的，但當大氣中存有被氣流（воздушные течения）帶來而懸浮於空氣中的輕煙粒時，它們就好像是染了顏色似的。煙樓實際上是“染了色的”空氣渦旋。在測定風速時也可以發覺空氣渦旋；它們可以引起陣風（порыв ветра）和風的擾動（пульсация ветра）。

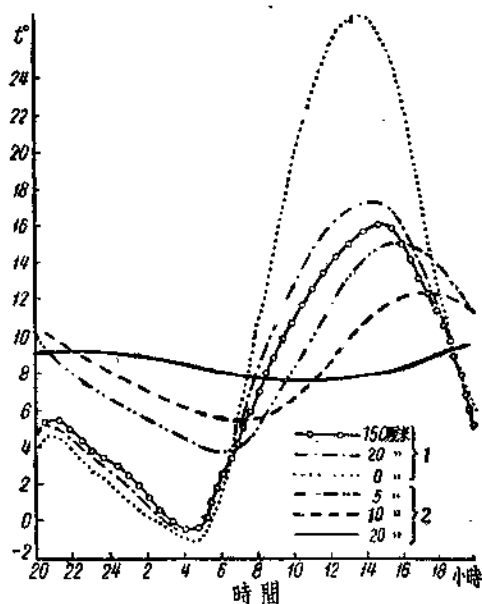


圖 1 空氣 (1) 和土壤 (2) 的溫度日變

大氣的渦旋狀態稱為渦動，而渦旋混合的程度，是藉助於渦動交換係數來測定的。渦動的熱量交換比起空氣分子的導熱要強數千倍。風速越大，則渦動交換係數也越大。渦動混合程度同樣也決定於大氣的溫度分佈（расслоение）。在夜間，