

日本預防霜害的研究近況和問題

吳 鐸 趙世杰譯

1 1 1 1 1 1

上海市科学技术編譯館

208
230

日本預防霜害的研究近況和問題

吳 鐸 趙世杰譯

*

上海市科学技术編譯館出版

(上海南昌路59号)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印張 1 1/4 字數 20,000

1961年10月第1版 1962年11月第2次印刷

印數 1-750

編 号: 0067·001

定 价: 0.25 元

目 录

- 一、日本預防霜害的研究近况和問題……………坪井 八十二
- 二、用結冰法防止霜害的撒水量……………中川 行 夫

日本預防霜害的研究近况和問題

坪井 八十二 著

甲、緒 言

在日本自 1953 年的大霜害后,对霜害的預防方法更加引起注意,因此有关防霜工作的研究也更为进展。从研究結果来看,例如重油燃燒法,已經在果园及桑园收到了实际效果,但是发展还不够充分,由于措施所需的費用和劳动力的关系,除一部分作物可以实施外,在应用上尚存在着一些問題有待今后研究。

預防霜害的方法有下列几种:

(1) 应急的預防法 即使用防霜設備和防霜材料以防止作物在霜夜受冻的方法,因此,这是一种依靠改善自然条件的預防方法。

(2) 抵抗的預防法 用提高作物的耐霜性以減輕受害的方法。使作物增加对霜夜低温的抗性,所以这是一种依靠改良品种的預防方法。

(3) 迴避的預防法 用停种不耐霜害的作物,和迴避作物耐霜性薄弱时期的方法,也就是調查当地霜季特性而訂立安全的种植計劃。

(4) 永久的預防法 即查明当地霜害气象的特性,人工改变气候条件使霜害不易发生的方法。例如在最易发生霜害的地点有计划地造防霜林。

提到霜害預防法,人們很容易想到这是上述第 1 項应急的預防法。其实,由于作物种类的不同,这项方法有时不能实行,而且,即使某些作物在經濟上能够实行,也以同时与第 2 項及其他各项方法适当地配合起来为宜。

乙、应急的預防法

一、結冰法——撒水間隔和撒水量的探討

这种防霜法最初使用于德国。它的特征是：如果合理地操纵撒水工作，就能把作物体温保持在 0°C 左右；据说，这是最可靠的防霜法。

简要地说，这种方法是在霜夜在作物体上連續撒水，使作物体包上一层冰膜。撒在作物体表面上的水，在結冰时放出潜热，用这种热将作物体温保持在 0°C 左右，因而保护作物，使它不受霜害。

表 I 是日本长野县园艺試驗場在 1957 年 5 月 3~4 日結霜时用这种方法对苹果进行实验的結果。从发生锈果的数目上可以看出显著的效果。在未撒水区的锈斑很大，环繞着苹果的表面，而撒水区只有 3~4 毫米左右的輕微锈斑。

表 I 撒水結冰法对于苹果发生锈斑的效果

	锈 果	健 全 果	合 計
撒 水 区	8(3.5%)	221(96.5%)	229
未 撒 水 区	172(83.1%)	35(16.9%)	207

注：以上是从三顆 6~7 年生苹果树，任意选择的主枝上的果实合計。撒水量为 3~5 毫米，最低温度为 -2.7°C

其他許多实验也都以撒水結冰时，作物体温的測定和撒水量分布的測定为主而进行的。依据这些实验的結果，撒水間隔短(60 秒左右)而撒水量多(每小时 4~5 毫米)的时候，容易得到預期的保温效果；在与上述相反的时候以及在风速大的时候，撒水区温度的变化，和未撒水区并无多大差别(有时反而变得更低)，这就提出了一个基本的問題。

日本群馬县农业試驗場曾就这一点进行过詳細的实验。根据該場研究的結果，可知撒水量相同时；撒水間隔愈短，作物体表面上冰膜的形成愈快(表 II)。其他地方試驗的結果也說明了撒水量在每小时 3~4 毫米时，要使作物体完全被冰膜所包裹，需时約 20~30 分钟，有时还更多些；要使作物体全部开始得到防霜的效果，也要在大致相同的时间以后。这一点是实际防霜时所应考虑的事項之一。在开始撒水后立刻暂时地增加撒水間隔和撒水量，也許是一个适宜的方法。

表 II 撒水間隔和結冰开始的时刻

撒 水 間 隔	結 冰 开 始 时 刻
30 秒間隔	1 分后
60 秒間隔	4 分后
90 秒間隔	13.5 分后
120 秒間隔	24 分后

气温和温度的效果

图 1 表示霜夜低温程度和撒水对植物体温的效果。撒水区作物的体温在气温为 -1.5°C 时，大体能够完全保持所預期的温度；气温为 -2.0°C 时，体温略降而无害。但是气温为

-3.0°C 时,就有危险,到 -4.0°C 时,就不能得到预期的防霜效果。这是因为被撒的水尽管在作物体表面上结冰。但是此时所放出的潜热少于因冷却而被夺去的热量,所以就不能维持预定的接近 0°C 的温度。

风速和温度的效果

另有一些实例说明在有风时体温上升得很少。这是因为有风时撒的水有偏向,上风方面撒水量较少,同时,受到干、枝、叶遮蔽的部分也不易沾到水,所以总的来说,撒水变得不均匀了。此外,有风时冷却程度加速也是原因之一。图 2 所示风的影响,是在撒水量相同、低温程度也大体相同的霜夜实验的结果(由于图的关系,只能表示结果的一部分)。

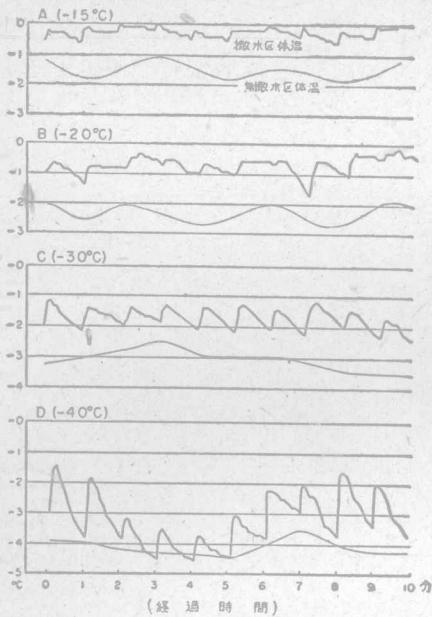


图 1. 霜夜的低温程度和撒水的效果

注: 未撒水区作物体温为: A: -1.5°C, B: -2.0°C, C: -3.0°C, D: -4.0°C。
撒水间隔为 60 秒。

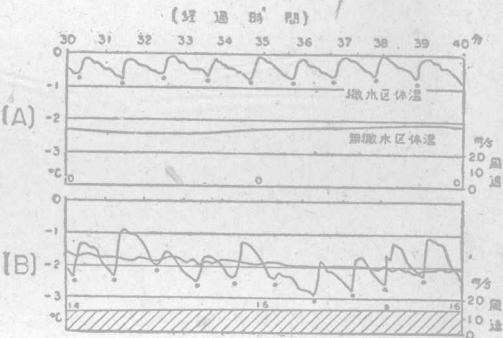


图 2. 风的有无和撒水的效果(日本群馬县农试)

注: A: 无风时, B: 有风时, ○号表示撒水,撒水量为每小时 2.8 毫米,撒水间隔为 60 秒。

无风时能够得到预期的效果(图 2, A),但如有了每秒 1.5 米左右的风(B),保温效果就几乎完全消失,最低温度有时还在未撒水区之下,反而有扩大损害之虑。本实验在作(B)的测定的同时,还做了撒水量每小时 4 毫米、撒水间隔平均 30 秒的试验(在两架撒水器之间,撒水重复的地点),所得的结果也和图 2 相同,看不出保温效果。此外,又曾在风速比本实验较小的夜里进行了另一次实验,在撒水量每小时 2.8 毫米、间隔 60 秒时,也得不到保温效果,但在撒水量为每小时 4 毫米、间隔 30 秒时,在撒水开始后 27 分钟,就能保持体温于平均 -0.5°C 左右(未撒水区的体温是 -1.5~-2.5°C)。

从以上的结果看来,可知在实行结冰法时,如果撒水量和撒水间隔不适当,可能因为当天气象条件的关系而归于失败。截至目前为止,用撒水器进行撒水实验,还不曾因此而直接引起作物受害,不过,总宜充分注意才好。在初用这个方法实验时,用喷雾器能够做到完全连续的撒水,而水量也多,所以无论那一次的实验都成功了。但撒水若间隔 10 分钟或更长些时间,则作物的受害反比未撒水区更为严重,体温降低得很多,象这样的实例也是有过的(图 3 及表 III)。

表 III 結冰法对葡萄所受霜害的影响(日本长野县农试)

	調查芽数	受害芽数	受害率(%)	备 考
連續撒水区	80	0	0	1956年4月30日撒水,5月8日調查結果連續撒水区每隔10分钟撒水約30秒,撒水量为每小时10毫米左右。未撒水区叶温平均 -4.5°C 左右,撒水区叶温平均保持于 -0.5°C
断續撒水区	114	68	60	
未撒水区	130	24	18	

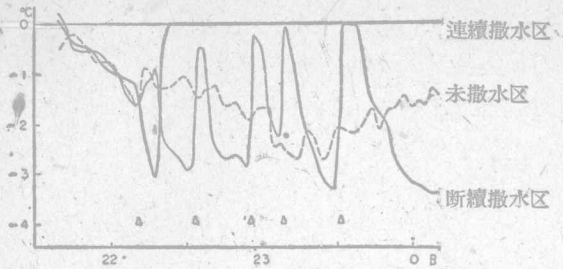


图 3. 連續撒水和断續撒水的温度变化
(Δ :撒水)

为使結冰法能在日本实行,而不致失敗,現在根据 Niemann 氏所論,对結冰法中作物体冷却的問題探討如下。

撒水中断后植物体的冷却

如果植物体上不断着水而表面潮湿,就可以經常結冰。在結冰时,每1克水放热80卡,所以植物体温不致下降。但是,如果撒水中断,結果如何?可以中断多久而无害?

結冰的植物体表面,它的形状是不規則的。現在先談談冰板冷却的問題。

图4是不同厚度冰板的冷却状况。图的纵軸以温度差的縮減率为单位,横軸以冷却時間(分钟)为单位。就厚度为1, 2, 4, 10及20毫米的各种冰板,按此逐一画出其冷却曲綫。A为无风时, B即风速为4米/秒时。假定冰板与外界的温度差是 4°C 。无风时,1毫米厚的冰板經過5分钟后就要冷却 3°C (温度差縮減为原有者的0.25,亦即縮減为 1°C),4毫米厚的冰板就要冷却 1.5°C 。但在有风时,1毫米厚的冰板經過5分钟后,就冷却到与周围气温几乎相同的温度,即連10毫米厚的冰板也冷却 2.2°C 。

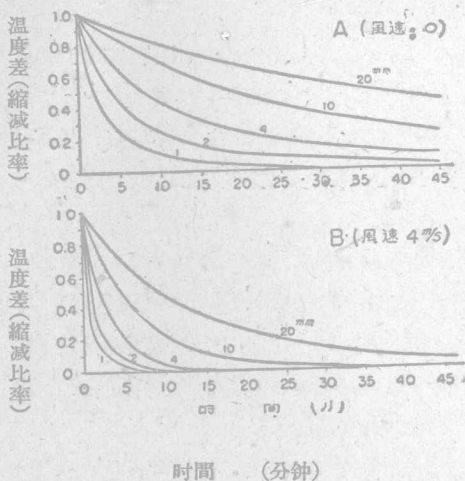


图 4. 撒水中断后冰板中心部的温度变化

如果把植物体叶上的冰膜,模拟为上述的冰板,莖和小叶模拟为圓筒,花蕾和幼果模拟为球,則冷却的速度以球形为最快,圓筒形次之,平板形更次之,也就是花蕾和莖的冷却要比上述冰板更快。

水的潜热的持續

被冰盖住的植物叶在撒水之后,水在叶上結冰所需時間如图5所示。在气温为 -3.5°C 而几乎无风时,水要結成冰而开始冷却,需时3~4分。气温

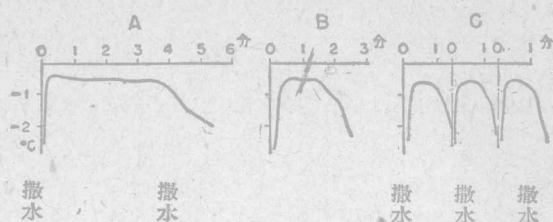


图5. 撒出水的潜热持续时间因气象而不同

A: 气温 -3.5°C 几乎无风
 B: 气温 -3.5°C 有风
 C: 气温 -10.5°C 几乎无风

相同而有风时(B), 需时 1.5 分; 气温为 -10.5°C 而几乎无风时, 则需时 1 分以下。在任何一种情形下, 叶被撒上水后, 数秒之内, 体温上升。这种温度变化与图 1、图 2 是同样的。

从以上的事实可以知道, 用撒水器撒水的间隔是受气象条件、特别是受低温程度和风的有无所影响。温度可低至若干度而无害, 这决定于对象作物的危险温度。从以往的經驗来看, 如要将作物体温保持在 -2°C 以上, 在日本霜害时期的气象条件下, 以用每 60 秒左右迴轉 1 次的撒水器为宜(实际上在两架撒水器相邻接的地方, 间隔时间比此更短)。冰层愈厚, 植物体冷却愈慢, 因此在撒水的后半期, 可以将间隔略微延长, 不过实际上这样做是很麻烦的。

此外, 对于撒水间隔与作物体温的关系, 我們也曾加以测验, 测验的结果如图 6 (注意: 每次撒水时间比用撒水器时长得多)。在这个实验中, 撒水量极大(将近 80 毫米), 当时只有每秒 1~2 米的风, 可是作物表面温度在间隔 3 分钟的撒水时, 依然下降很多。而且这次实验也指出, 皮下温度的变化比表面温度较小。

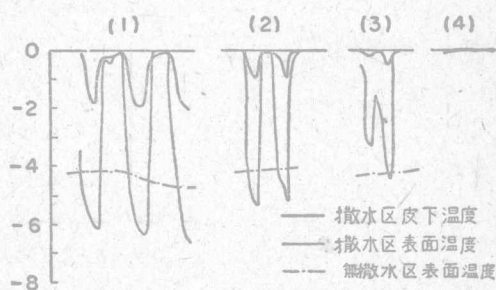


图6. 撒水间隔的不同和体温变化

(1) 撒水 8 分, 间隔 8 分; (2) 撒水 5 分, 间隔 5 分; (3) 隔 3 分; (4) 隔 1 分

撒水量的探讨

撒水量愈小, 水源愈易得到确实保证, 这一点在经济上是有利的, 所以应该算出最小的有效水量。下面就这一点从热量方面加以探讨, 以便算出实用上大致标准。

一般结冰法的原理是利用水结冰时所放出的潜热。这就是说, 在每 1 克水结冰时, 可以利用它所放出的 80 卡的潜热。另一方面, 植物体表面(包着植物体的冰膜的表面)会散失热量, 因此, 为要保持植物的体温, 它从水得到的热量就非大于它散失的热量不可。

得到的热量可从撒水量(更确切地说, 可从附着在植物上的水量)计算出来, 但是散失的热量由于气象条件不同而变化很大, 它的计算是极其复杂的。

設 Q 为散失的热量, 可以列出下式:

$$Q = Q_s + Q_L + Q_v$$

Q_s 是因辐射而散失的热量, Q_L 是向四周空气传导而失去的热量, Q_v 是由蒸发而散失的热量。

(1) 辐射(Q_s) 地面以及植物体表面在夜间冷却的原因之一是辐射冷却。植物体本身辐射放热, 同时也从其他物体受到辐射, 例如云。两者之间差额是使得植物体冷却的有效辐射量。现在的问题就是有效辐射量的问题。多云的夜里有效辐射量小, 所以冷却也小; 反之, 晴夜的有效辐射量大, 因此辐射冷却就大。少云的霜夜, 这种热量估计约为每分钟每平方厘米 0.1 卡 (每小时每平方米 60 千卡)。这个热量和夜间冷却的研究 (1956~7 年进行的) 所得的结果 (表 IV) 也大体相当。而且这个量不受风速的影响。植物体尽管为冰所复盖, 辐射量也几乎没有变动。不过树冠的内部和露在外面的部分当然不同。这里所指的是指树冠顶端的植物体而言。

表 IV 霜夜辐射所消失的热量

时	間	散失的輻射热 卡/平方厘米,分钟	云 量	云 形
(第一日)	22	0.119	1	高层云 (As)
	24	0.111	0	—
	2	0.116	0	—
	4	0.123	0	—
	6	0.108	3	层积云 (Sc)
(第二日)	18	0.116	0	—
	20	0.091	0	—
	22	0.117	0	—
	24	0.112	0	—
	4	0.093	0	—
	6	0.091	3	卷云,层积云 (Ci、Sc)
(第三日)	18	0.093	1	层积云 (Sc)
	20	0.110	0	—
	22	0.098	0	—
	24	0.097	0	—
	2	0.094	0	—
	6	0.069	0	—
平	均	0.103		

(2) 传导(Q_L) 在植物体和四周的空气间有热传导。由于連續撒水而被保持在 0°C 左右的植物体温比四周空气的温度较高, 因而就有热量, 由于这种传导作用从植物体散失。四周的气温愈低, 风速愈大, 散失的热量就愈多, 它的计算方法如图 7 所示。例如: 求气温为 -5°C , 与风速为 0 米时的 Q_L , 只須在横軸上 -5° 处画一垂直綫, 与风速 0 米的綫相交, 再从交点画一

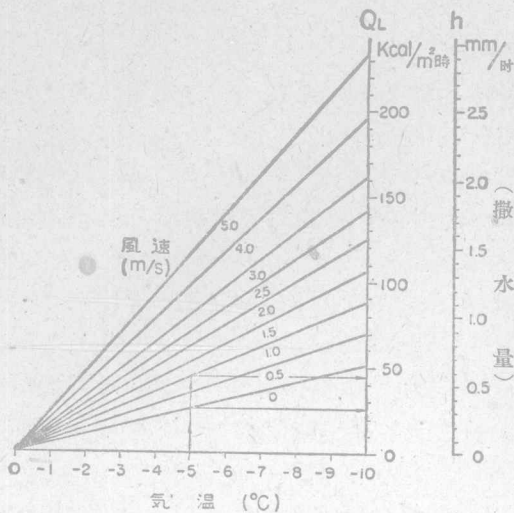


图7. 求得因传导而散失的热量

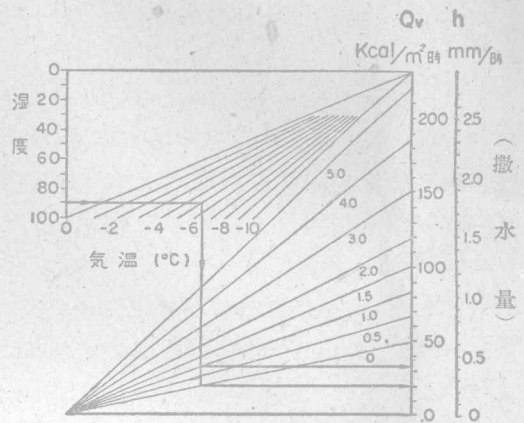


图8. 求得因蒸发而散失的热量

平行线,向右延长,与画着 Q_L 度数的纵轴相交,就可以得到所求的量。如图所示,这个量大体是 26 千卡/平方米·小时。同样,可以求得风速 1 米时的量是 45 千卡/平方米·小时。

(3) 蒸发(Q_v) 在和潮湿的植物体表面最接近的地方,空气是饱和的(温度接近 0°C),它与四周湿度较低的空气之间经常存在着蒸气压力的差值,因此植物体表面(冰)就发生蒸发,而被夺去蒸发热。空气愈干燥,风速愈大,蒸发就愈盛。计算因蒸发而散失的热量的方法如图 8 所示。

先从图的左上方的温度开始。譬如要计算温度为 90%, 气温为 -5°C , 风速为 0 米时的 Q_v , 先从温度 90% 处画一水平线,向右延长,与气温 -5°C 的线相交,再从这个交点垂直向下,和风速 0 米的线相交。然后再从这个交点水平地向右延长,和 Q_v 的刻度线相交,就得到所求的值。这个值大体上是 20 千卡/平方米·小时。同样,可以求得风速 1 米时的值为 34 千卡/平方米·小时。

现在再观察一下植物体散失的热量和潜热的差。如撒水量为 2 毫米/小时,发生的热量是

表 V 发热和失热的收支

风速(米/秒)		0		1		4	
气温 ($^\circ\text{C}$)		-5	-10	-5	-10	-5	-10
Q_s		60	60	60	60	60	60
Q_L		26	52	45	88	99	197
Q_v		20	29	34	48	69	105
合计 (Q)		106	141	139	196	228	362
潜	2 毫米	160	160	160	160	160	160
	差	+54	+19	+21	-36	-68	-202
热	4 毫米	320	320	320	320	320	203
	差	+214	+179	+181	+124	+92	+42

(单位: 千卡/平方米·时)

80 千卡 $\times 2=160$ 千卡/平方米·小时。气温为 -5°C 、 -10°C ，湿度为 90%，风速为 0 米、1 米、4 米时計算的結果列如表 V。依照表 V，撒水量为 2 毫米时，如气温为 -10°C ，风速为 1 米及 4 米，植物体散失的热量，防霜的效果不能和預期的相同。倘使无风，即使温度为 -10°C ，也还有很多的潜热。在撒水量为 4 毫米时，只有在气温 -10°C 、风速 4 米/秒的情况下，結果是負值，其他情况下都是正值，而成为能够維持温度的条件。

为求明确起見，茲将撒水量为 2 毫米时的上述关系列于图 9。

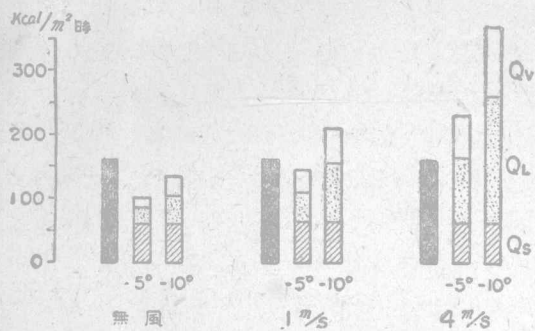


图 9. 撒水法的热量收支状况
(撒水量: 2 毫米/小时)

在图 9 中，即使在潜热多的場合，如果其数值小，在气温极度下降之后进行撒水，作物需要相当长的時間才能脫离危險温度，而接近 0°C 的稳定状态。在这个時間内，作物可能受害，故以作物体温达到危險温度之前开始撒水为宜。在这項計算中，是将全部撒水量假定有效的情况下进行的。如把植物体上所沾到的水作为有效撒水量，实际撒水量应当还要大得多。

以上計算是理論上的，虽然根据实践加以簡化，但还只是一个大致的标准。

二、烟雾法——关于防止辐射的有效微粒子的探索

多云的夜里，气温的降低比較緩和，在容易出現雾的地方，不易引起霜害。假若在晴朗的夜晚，能够制成人工云及人工雾，那末就可以緩和夜間的气温降低，并能防止霜害。很久以前所进行的燠烟法，就是具有这种意义的方法。虽然燠烟的效果要看地势如何而定，很难断定能否絕對有效，但不論在那类地区，燠烟在一定程度上确实可以抑制受害程度。然而，历来各地多未能發揮其效果，这主要是方法不当或錯失时机所致。方法如有錯誤，效果当然降低。但在低温比較严重的情况下，即使燠烟法运用得很好，但作物的体温可能低于危險温度。施行这种方法的地区和不施行的地区相比，作物体温只能提高 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ ，最高也不过 2.0°C 。这和結冰法是不同的。但如将这种方法应用在低温程度較輕的地方，則可以充分达到預防目的。即使見到外表上的損害，但从損害后的恢复力，也可以看出实施的效果。1908 年日本发生大霜害时，燠烟法的效果极为显著。在实施区以外，完全未受到熏烟影响的地方，显著地受到霜害，受損程度达到 4~5 成。实施地区以内，燠烟材料較少的地方，尽管嫩枝上有一两片叶子多少受到一些损伤，但未达到变黑的程度；从总平均来看，損害被限制在 1 成左右。

燠烟法的目的是要防止叶面上的热辐射，以抑制叶温的下降。为了获得这种效果，可在叶組織內所含水分結冰前开始燠烟。燠时須注意保持冒烟旺盛，并須注意下列事項。

- (1) 在气温将要降到 1°C 以下时，应在离地 1 米高处經常观察气温。
- (2) 在进行燠烟时，需加盖潮湿的席子或草包，并时时洒水，尽量使冒烟旺盛。
- (3) 燠烟必須进行至日出为止，决不可中断。
- (4) 燠烟的处数多少，須看燃料的多少而定，每公頃至少 4~5 处。
- (5) 燠烟使叶温提高 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 。
- (6) 根据气象台的預报，預先做好燃料及其他准备工作。
- (7) 日落后，观测气温时应同时观察温度：露点达 0°C 以下时，必須警戒。即使在 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 时，也应加以警戒。

(8) 組織互助,共同預防。

最近燻烟法的应用虽有衰落的趋向,但我們认为有重新加以应用的必要。

烟雾的濃度 (克/米³×米)

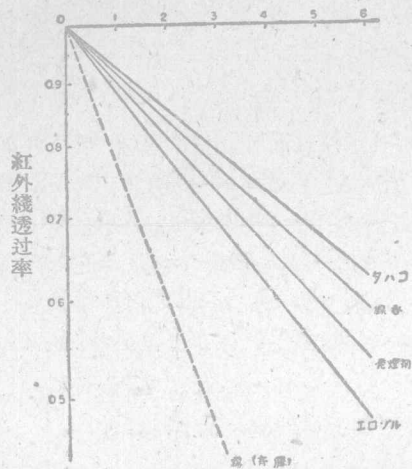


图 10. 各种烟的紅外線透過率
(タバコ: 烟草; エロゾル: 气溶胶)。

燻烟法需要劳动力,但可从事大面积的預防,所以面积效果較大。自 1955 年开始,日本为了发挥这项优点,并为节约劳动力,进一步研究了較燻烟更有防止辐射效果的微粒子散布法。

共立农机公司試制的烟雾发射机所喷射的烟是水和油的一种气溶胶。測定的結果見图 10, 它的紅外線透過率稍低于烟草、綫香、发烟筒等的烟。紅外線不容易透过,則保温效果自然良好,但还不如自然雾。根据最近的研究,已經明确:在理論上能够影响紅外線透過率的主要条件,是烟粒子的粒徑及其构成物质的吸收系数。

以气溶胶为首的多数烟粒子的粒徑只有 0.5~1.0 微米左右,而雾粒子的粒徑則为 5~15 微米左右,不但粒徑大,而且在吸收系数上,雾也比烟良好。

图 11 表示人工烟 (发烟筒的烟) 的粒徑变化于 0.2~5 微米之間的透過率,可以看出,透過率随粒徑的增大而降低。

烟雾的濃度 (克/米³×米)

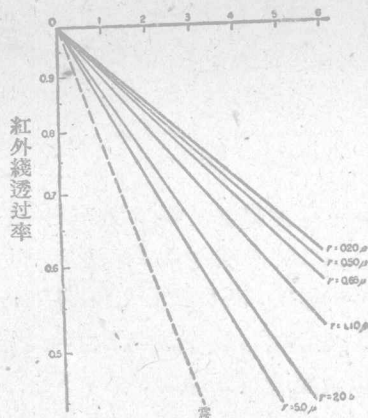


图 11. 烟的粒徑变化和透過率

烟雾的濃度 (克/米³×米)

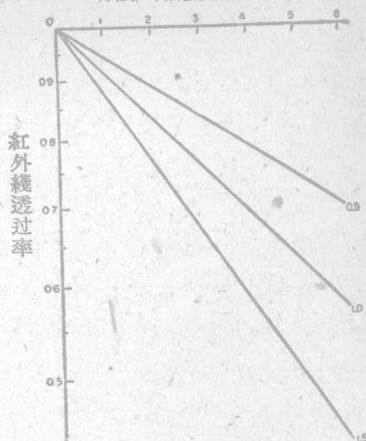


图 12. 烟的吸收率变化和透過率

图 12 是粒徑为 0.65 微米,吸收率增减各 5 成时的透過率,由此可知,吸收率的增加使透過率降低。

现在的气溶胶以及燻烟的烟虽然在防止紅外線透过这一点上不如自然雾或云,但将来如果找到吸收系数大,并对人畜无害的物质,以粒徑大于烟的微粒子进行散布,那末,我們就可利用人工烟雾来达到防霜的目的。

实际上,影响透過率的主要条件是烟雾的濃度,也就是单位容积的粒子数和烟雾的厚度。雾有 50~500 米左右的厚度,但根据以前的实验,人工烟雾充其量不过为 20~30 米的厚度,在盆地地带最低部,从地面算起不过为 45 米的厚度。由此可知,人工烟雾的散布,受到气象条件的影响很大。这是难以达到自然雾那样的效果的另一个理由。所以散布法的研究也是一个大的课题。

上述各点如能解决,則在大面积上的防霜就将成为可能。

丙、回避的預防法

停种对霜害抵抗力較弱的作物,及回避对霜害抵抗力較弱的生育时期,这一原則当然不限于霜害,同时也是預防一切灾害的常理。

一、危險期的回避 农作物按照生育时期的不同,对于霜害的抵抗力也有强弱之别。降霜次数越近夏天越少,而越近冬季越多。在这种情况下,回避的栽培法就不得不侧重于晚期化。然而,一般的栽培法都以早期化为有利,所以为了回避霜害进行晚生栽培,实际上有种种困难。最好是能将作物的危險期推迟而使收获期不变。这虽然困难,但是有可能的。

例如在蚕业方面,素来利用早生桑与四眠蚕配合而进行春蚕飼养,現在为要利用晚生桑,以縮短霜害的危險期,就不得不从事三眠蚕的飼育,推迟幼蚕孵化期,以求得两者之間的配合。試驗証明:晚生桑叶发芽約迟 4~7 日,三眠蚕的幼蚕孵化期約迟 3~4 日,而三眠蚕的結茧期却与以往并无多大差別。在农业方面,由于发芽、开花期的晚化大多会直接造成收获期的晚化,所以实际上是有困难的。不过,育成危險期推迟而收获期不变的新品种,改进栽培管理方法,以及利用药剂以調节生产时期等等,这都是可能的。这些也都是應該重視的研究事項。

表 VI 散佈 MH 药剂后所造成的发芽延迟和受害率

濃 度	对 照	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
发 芽 期	4 月 7 日	4 月 10 日	4 月 23 日	4 月 27 日	4 月 30 日	5 月 4 日
发芽延迟日数	—	3	6	20	23	27
受害 率 (%)	78	74	49	21	17	9

注:受害率指霜害所造成的受害率,試驗于 1952 年,这一年的最后降霜日为 4 月 25 日。

茲举例說明药剂发芽抑制法如次。在茶叶方面,日本东海近畿农业試驗場茶业部曾以 MH-30 剂的 0.05~0.25% 溶液,加入散佈剂后按每 10 公亩 180 公升的比率,在 3 月中散佈,結果如表 VI 所示。利用 MH 剂所获得的延迟发芽效果极为显著,而且与濃度有密切的关系。在濃度 X 和延迟日 Y 之間,可以求出 $Y=3.5+110X$ 的簡單关系。随着发芽的延迟,霜害的受害率显著减少。以 MH 剂处理延迟芽的生长时,在药剂濃度較高的地方,也有不发芽的,但在收获量方面并未見到差异。日本埼玉县茶叶研究所曾經进行同样的試驗,(0.5% 及 1% 溶液,散佈量为 180 公升/10 公亩)虽然收到抑制发芽的效果,但由于这一年結霜时期的关系,散佈地区反而受害較大。可以想象到較濃的药液会引起叶形和品质的恶化。不过,今后随着药剂的改进,也許能做到在危險期抑制生育,而于危險期后促进生育。

二、終霜日

在拟訂作物的回避計劃时,必須清楚地了解当地的晚霜特性。气象表上記載的平均終霜日,是根据历年終霜日期統計出来的平均日期,但在这一天以后,也常常发生晚霜。應該查明当地历年的終霜日并計算其誤差率(PE),把 $M+2PE$ (M 为平均終霜日)的日期,作为不必顾虑霜害的一天(防霜措施标准日)。这个方法在 10 年中只有一次差誤,在实用上是比较有效的。可以根据这个方法,划出一个地区不必顾虑霜害的等日綫,以便进一步明确該地区的結霜特性。从图 13 可以看到,气象台的平均終霜日和防霜措施标准日在某些地方有較大的差別。

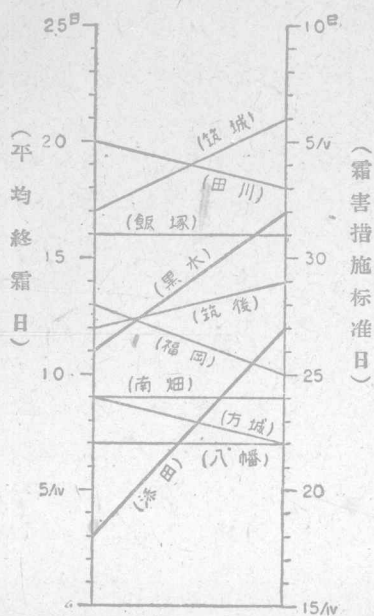


图 13. 平均終霜日和霜害消失日的关系
(福岡县)

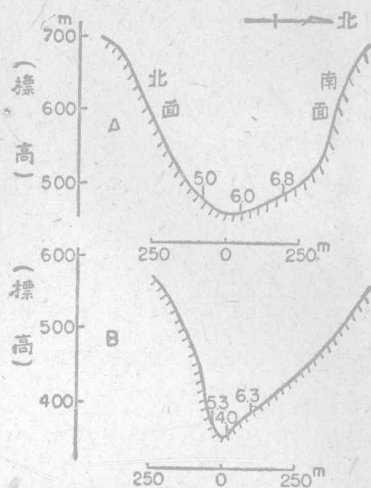


图 14. 在山谷的南北斜面上的桑叶
开叶数状况

三、危險地的回避

霜害所造成的受害程度,即使在一乡一村的小范围内,也会有很大的差别。这是因为各地局部气候不同所形成的。对于这种气候条件,主要应从两方面来考虑。一方面是对作物的生育过程有影响的气候条件,另一方面是对霜害有直接关系的霜夜气候条件。

前者是指当地的局部气候会影响作物的生育时期及对霜害的抵抗性,使作物受到同样的低温,而受害程度有所不同。斜阳地上的生育比较顺利,但也有受害较大的例子。不过,把这种局部气候对生育过程的影响与霜害联系起来而进行的调查还不多。图 14 示出由于山谷斜面不同而形成桑叶开叶数的差别。A 为同一山谷的上流地点,根据上流及下流的差,可以明显地看出斜面不同所造成的差别。

霜害时最低气温的分布资料很不充分,但也有很多的调查例子。夜间冷空气顺着斜面流下而滞留于低地。以大规模的地形来说,气温随标高的增高而降低,但霜夜的情形相反,越在低地,气温越低,而山腰的斜面都是高温地带。

图 15 是甲府盆地不同标高的温度分布情况。盆地的低部气温最低,接近标高 300 米处,可以见到显著的高温区域。从水平的分布来看,这个高温区域呈带形而回绕于盆地的斜面上,我们可以想象,这个地区霜害的危险极少。这种现象可以作为防霜措施的一个环节,在土地利用上应予注意。当低地上的作物受到显

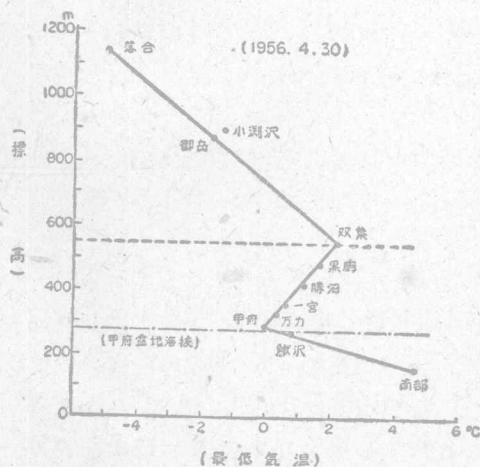


图 15. 霜害时不同标高的最低气温分布图(甲府)

著的灾害时,小高丘上的作物却完全没有受害,这种例子是很多的。相反,在堤防的上侧,山谷中的狭地上,却常常受到较大的灾害。

霜害危险地带主要是由地形和地上物所引起的不同局部气象及微气象所形成的。在地形起伏较多的日本农村中,如能明确经常发生霜害地带及无霜害地带等地的地形和气象特点,不仅对回避危险地有作用,而且对于现场农业计划以及对于霜害的预报、霜害的防止措施、受害的测定等也有作用,而在积极方面,更能发挥处理冷空气以改良农村气候的作用。

四、霜害危险地带的调查法

1. 利用测定器的观测法:

(1) 定点观测

(2) 移动观测。

2. 利用资料的调查法:

(1) 本地区内气象站的气候资料的处理。

(2) 利用地形图及土性图等从事的测定。

(3) 利用试验场及政府统计资料从事的调查。

3. 根据指标的观测:

(1) 利用气候现象的观测。

(2) 利用植物分佈的观测。

4. 利用听取报告及填写调查表的方法。

5. 利用模型实验的方法。

上述种种调查方法各有长短,必须针对目的,配合运用。这里限于篇幅,只能介绍2~(2)所列地形图的推测法及其结果如下。

五、利用地形图的测定法

这是一种德国方法(S. Uhlig—1957),利用地形图,在图上测定霜害地带危险度的分佈情况,其要点如下。

这种方法是將某地的条件用数值评点,再合计各种条件的点数,并根据总点数决定它的危险度。调查时首先將该地的地形环境分成下列四组。

A: 地形的性状, B: 该地的微地形, C: 该地的比高, D: 该地周围的地面状态。

A组中先了解该地的一般情形,即属于平原、丘陵、山地、高地等等之中的那一类。A组中的各种地形可照表7评定点数。

B组是微地形。A组中Aa~Ad的地形(表VII),須按照表VII所评点数,重复评给一次。这是为了强调由地形的特征所造成的差别。对于Ae,则仅评给B组的点数(点数表从略)。对于C、D也同。各组的总点数,最少是0,最多是35。

在实际工作时,可以在地图上画好纵横的线网,而在交点上按上述方法评点。网眼的大小视地图的比例而定。

图16是一个实例,地图比例为5万分之一,网眼为5毫米,即每隔250米选择一点。这次测定的结果,大部分与其他测定相符,但细节有所不同。

六、关于这种方法的批判

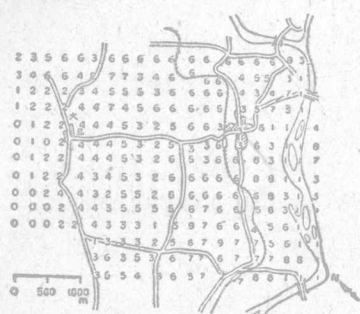
这种方法还存在着一些问题。首先,评点的准确性是有问题的。其次,由于可能应用的地图的精密程度,不能得出十分详细的评点,更不能利用现实的微地形来发现极为局部的霜道

表 VII 霜危险度的评点表 (A: 地形性状)

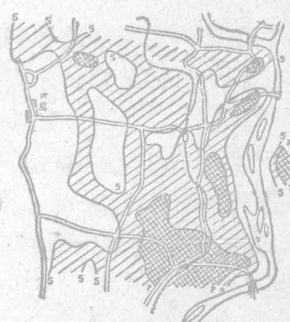
地 形	点 数	地 形	点 数
a. 平原	7	II. 主谷和支谷 (下表左列点数)	
b. 平原洼地	10	III. 斜入山谷的斜面 (下表右列点数)	
c. 平原中心的圆丘	2	坡度 长度	
d. 丘陵地			
I. 丘陵上	2	1. 急 } 短	0, 0
II. 斜面(中部以上)	4	2. 中 }	0, 1
III. 斜面(中部)	6	3. 缓 }	3, 2
IV. 斜面(中部以下)	7	4. 无 }	5, 4
V. 丘陵山谷	9	5. 急 }	0, 0
e. 山地和高山		6. 中 }	2, 2
I. 山顶	0	7. 缓 }	5, 4
		8. 无 }	8, 7
		9. 无出口	10, 10

表 VIII 霜害危险地带等级表

总 点 数	10 以下	10~11	12~13	14~15	16~17	18~19	20~21	22~23	24~28	29~35
危 险 度 等 级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
霜 害 次 数	霜害极少		霜害少		霜害多, 10年中1~2次			常常发生霜害		
霜 害 危 险 地 带	I		II		III			IV		



I. 評定地点的危险度等級



II. 从左图求出的危险度分佈图

图 16. 危险度等級及分佈图(长野县松川町)

及霜穴。此外,这种方法也很費力,进行 70 个地点的評点需时 3~4 日。

在曾經做过气象調查的地点,应用这个方法进行测定的結果指出: (1) 关于 A 組的“地形性状”,由于对地形位置的判断不同,可能得出完全相反的結果; (2) 不能反映平坦地区起伏較少的地形差别; (3) 比較适用于山区起伏較大的地形,不适用于平坦地区,需要根据平坦地区

的地形性状另行制訂評点的标准。

丁、恒久的預防法

有计划地改善霜害危險地帶的作物栽培方法，是一种恒久的措施，但也可以作为回避預防法的一部分来考虑，这里仅就霜道、霜穴(冷空气湖)經常发生地帶的气候改良預防法，叙述如下。

对于霜害經常发生地帶的改良，必須从查明其形成过程开始。这就需要进一步調查霜害危險地帶的分佈，并主动地掌握其构造。对于霜穴，需要准备排除停滯冷空气的出路；对于霜道，則需要做好防止冷空气侵入的防御物。但是还要研究，在什么地方以及构筑那种类型的地上物，才能改良霜害的气候。

冷气流的构造极为复杂。因此必須了解冷气流的实态，而搜集理論資料更为重要。最近在这方面所了解的情况如下。

一、冷空气的高度和扩展

(1) 当冷空气流到山谷中狹窄的地方，就受到阻碍而停滯于谷底。故沿着山谷若有几处这样的地方，就会象河流中有几处拦河坝那样，形成积聚状态。

(2) 冷空气层高度的上升，发生在两个山谷間冷空气合流的地点；及在山谷中存在着地上物，冷空气下流受到阻碍的地点；也发生在支谷的冷空气碰到主谷的强烈的冷气流，以致逆流停滯等处。

(3) 冷空气层高度的降低，发生在河流附近有雾的地点；及冷空气被拦住在障碍物下流的地点；在两个山谷的合流处有一方面的冷空气不流动的地点；及河流大弯曲的附近及易于通风的山谷也会发生。

(4) 山谷弯曲的地方，从相向的斜坡上流下来的冷空气会向上伸展，形成厚厚的冷空气层，那里假如有小山谷，有时会沿着山谷深入而向上流。

(5) 霜穴(冷空气湖)的深度根据局部条件而变化，大致为 0~80 米，最大 100 米，平均 30~60 米。山谷的最大宽度若为 400~500 米，則谷間的冷空气湖的深度为 30~75 米(这是德国的例子，若在日本的小型地形則規模更小)。但是在同一山谷中，也会因当时的气象条件，而有 ±5 米或 ±10 米的差异。冷空气的最大宽度随山谷斜面的傾斜度而大有不同。

二、冷气的流出

(1) 冷空气并非經常在夜間流出，平时也以一定的間歇周期地流出。从表 IX 可以看出，在 23~24 点钟、1~2 点钟、3~4 点钟、5~6 点钟等時間，有一定周期的流动状况。

(2) 冷气流的速度可用以下的公式(Reiher 公式)表示。

$$K = \sqrt{\frac{2gh(T'' - T)}{T''}}$$

这里， K 为流速、 g 为重力的加速度、 h 为降落高度、 T'' 和 T 各为周围的空气和冷空气的絕對温度。据說，这个公式一般是常能成立的。

(3) 經观察后知道，从斜面下降的冷气流厚达 100~200 米，风速为 2~4 米/秒。斜面上，风的极大值出現于距离地面一定高度的地方。

(4) 在长的斜面上，距离地面 0.5~1.0 米的冷空气层，其平均流下速度約为 1.5~1.8 米/秒，極限于 0.3~3.5 米/秒之間。

表 IX 冷空气的流出时刻

时 刻	次 数	百 分 率
20 点钟以前	1	2.2
20~21 点	3	6.7
21~22 点	3	6.7
22~23 点	1	2.2
23~24 点	5	11.1
24~1 点	4	8.9
1~2 点	5	11.1
2~3 点	2	4.4
3~4 点	7	15.6
4~5 点	4	8.9
5~6 点	5	11.1
6~7 点	3	6.7
7~8 点	2	4.4
全 夜	45 (2.1)	100

注：括号内数字为一昼夜平均次数。

三、日本的观测实例

作为气候改良的资料，如上述霜害危险地带调查法那样的水平分佈静态调查法是很不充分的。在日本，关于冷空气的流出、移动、停滞及厚度等的研究还比较少，这里是最近的一两个研究实例。

在1958年春，作为研究霜道调查法的一个环节，并进一步改良地形图测定法，有人在日本长野县松川町大岛地区作了详细的气象观测工作，即利用在这个地区内8个地点所设置的自动记录温度计，每隔6分钟记录一次，求出每隔6分钟的各地点平均值，并得出这个平均值的标准偏差。在夜间，这个标准偏差一般为 $\pm 0.1 \sim 0.2^\circ$ 。但在冷空气流动时，数值较大，有时超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。根据各地点平均值的差，以及标准偏差的时刻变化，检查了冷空气在全区的流出状况，并从各地点的相对关系，明确了冷空气的流动及逆轉层的上下运动。从这些结果及另外进行的移动观测的结果，求出了地形图测定法所不能求出的详细霜道分佈图，即图17。

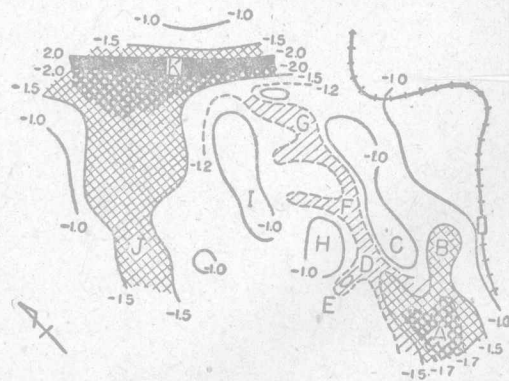


图17. 把微地形考虑在内的霜害分佈图(长野县松川町)