

冬季幼茶园的温度分布和树体的冻结

高市益行 米谷 力

在中山区栽培茶树，由于寒害与霜冻这种低温和冻结引起的危害，是造成茶园生产不稳定的主要原因，它妨碍着幼茶树的早期成园化。

对于茶树的耐寒性(受害时出现的温度)用剪枝和盆栽的幼苗进行了若干实验，可以清楚看出由于冻结时的冷却速度及融化时的升温速度不同而引起的耐寒性的变化，以及耐寒性在品种间的差异，在枝、芽、根等不同器官间的差异及其季节性变化。有关茶园的温暖条件，已做过地形和气温分布的关系的多次观测，清楚了解到在洼地和谷地容易发生低温。然而，有关植株周围或树体各部位的温度分布的小尺度的观测则较少。可供分析各部位的温度条件和耐寒性的资料也不充分。

近年，通过杀灭成为植物体冻结的关键因子的冰核活性细菌(INA 细菌)，以使植物体维持过冷却状态的防止霜冻的方法，在一些作物上都进行了试验，对茶树也作过研究。为了有效地利用这一方法，有关茶园树体冻结的实况是重要的。然而，由于这一测定比较困难，几乎还没有可以利用的数据资

料。

本研究是以茶园的冻害和霜冻的发生原因作为基础数据，为了解微气象条件与树体冻结间的关系，对幼茶园的小尺度温度分布，树体冻结的开始部位，进展情况和范围等进行了观测，现将其结果报告如下。

一、观测地点和方法

1. 幼茶园温度分布的观测方法

对幼树周围的温度分布等的观测，是于1988年1月—2月在奈良县农业试验场茶业分场的茶园进行的。

在试验园的中部选择一株茶树(树高65cm，株伸展47cm)对树体周围150cm高度内进行温度分布的测定。枝温是在枝条上挖个小孔，插入热电偶细线(线径0.1mm)进行测定。直径4mm以上的枝条插入深度约2mm，不足4mm的细枝插入其中心部位。叶温是选择露在外面的3片叶子(平均高度约35cm)，在叶的背部中央贴附0.1mm的热电偶进行叶温测量。在测定叶的横向往约30cm处用热电偶通风干湿表测定水汽压。其它测量还有，用净辐射计测距地表160cm处

的净辐射量,在高度150cm处使用三杯风速计测量风速,用无方向性热线风速计测量高度为35cm处的风速。图1是各测定点的位置分布情况。枝温、叶-气温差用混合式记录器和笔尖记录器记录,其他的数据用数据记录器每10秒采样一次,取5分钟平均值记录在微机的磁盘上。

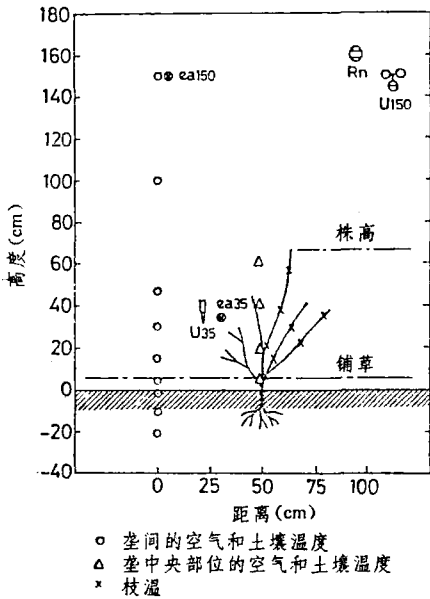


图1 茶园内某株幼茶树周围的传感器的配置

2. 树体冻结的判定方法

枝和叶的冻结可从温度记录的变化来判定。图2是幼茶园枝和叶冻结时的温度变化。枝的各部位(图2A、B、C)在温度下降到 -0.5°C 以下后,在记录上则显示出不连续升温,这就表明在其相应部位已开始冻结。在枝较粗的部位则升温维持时间长,升温值小。对于判定叶的冻结,有直接测定叶温的方法和叶-气温差(叶温与叶下方1cm处的气温差)测定方法,但采用叶-气温差判定方法比较简单(图2D)。

当叶面结露时,有时即使叶温出现暂时升温,而其实叶体并未冻结,这只是由于叶面上的露冻结所释放出的潜热而造成的。为此,在被测定叶的正侧面放置一个与叶体形状相同大小相同的黑色铝模型叶,将两者的

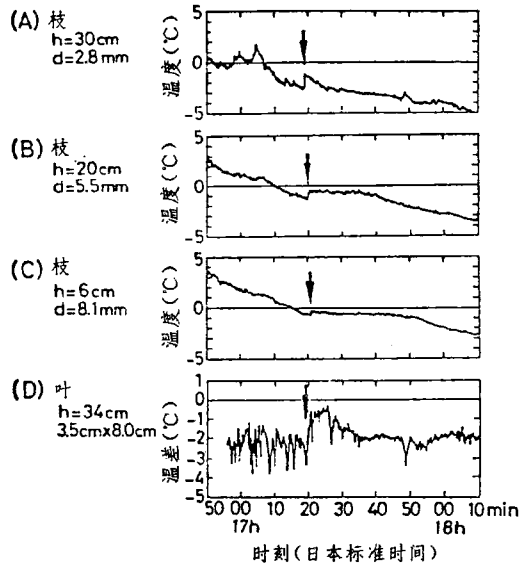


图2 在冻结时幼茶树枝的不同部位(A, B, C)及叶的温度变化

升温情况进行比较。由于模型叶上的水分只有露水,发生冻结时的升温时间很短,仅2—3分钟,而被测定的叶体冻结的升温时间长达15—20分钟,这样,不会将露的冻结(冻露)误认作为叶体的冻结。不过,冻露引起升温 and 叶体冻结引起的升温的时间大多是重合在一起的。另外,还可以设想在有些状态下,即使叶体发生了冻结,而叶面上的露尚未冻结,但对此还没有进行详细调查。

从上述的那种温度变化只能判定冻结开始的时间。从树体内一旦出现冰晶直至达到最低温度,有关在平衡冻结状态下从细胞内向细胞外的冻结脱水的进行状况尚不清楚。在叶体刚开始冻结时,凭外观和手感都难以判断,但如果用手电光从叶的背面照射,就会发现叶内有许多冻结斑(小星形的半透明部分)。

二、观测结果及分析

1. 幼茶园的 温度分布和树体的冻结-融解

1.1 幼茶园的夜间温度分布

首先调查了有关冬季幼茶园夜间温度条

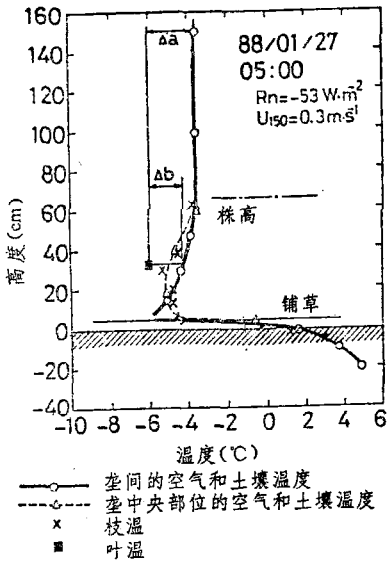


图 3 茶园幼茶树周围的夜间温度分布

件的特征。图 3 是 幼茶 树 周 围 的 温 度 分 布 (1988 年 1 月 27 日 5:00)。为保持地温和土壤中的水分及防止杂草, 垄间和株间铺上约 4cm 厚的草, 在其表面附近的温度最低, 地中温度维持在较高的状态。在植株的中层叶子稠密的部位的气温比垄间同样高度的气温低 1°C 左右。裸露在外面的叶子温度还要低 1°C 左右。图中标记 $\times$ 符号的是枝的温度, 株基部由于在其上方有许多叶子覆盖, 这里的温度要比 垄间铺草的上方的气温高 1°C 左右。在晴朗微风的夜间, 作为其温度分布推移的一般特征是, 随着地表逐渐冷却, 铺草上方的气温梯度逐渐增大, 地上部和地下部的温度差明显加大。在观测期间, 地上约 10cm 的气温和地下 10cm 的地温之间出现 10°C 以上的差值, 地表附近的温度梯度非常大。

其次调查了 Δa 和 Δb 与净辐射量 R_n 、风速 U_{35} 、 U_{150} 的关系。其中 Δa 是高度 150 cm 处的气温和高度 35cm 处的叶温差, Δb 是高度 35cm 处的气温与叶温差, R_n 是地上 160cm 处的净辐射量, U_{35} 、 U_{150} 分别为高度 35cm 和 150cm 的风速。图 4A、B 中的各点是 20 时—06 时的各正点的观测数

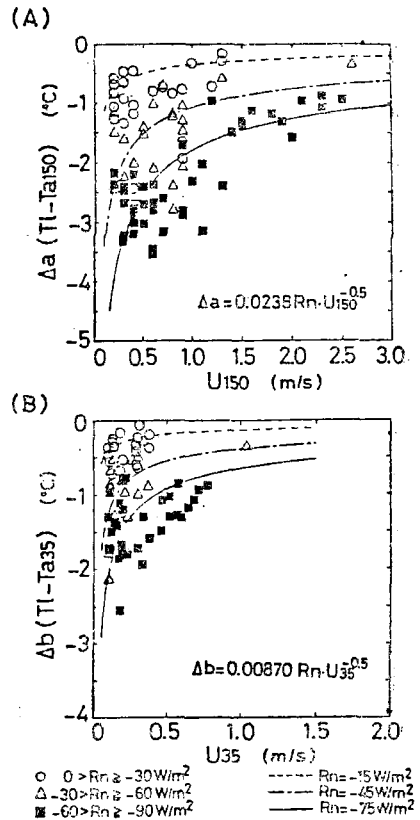


图 4 冬季(1988.1.14—3.8)夜间风速与温度差 Δa 、 Δb 的关系

据。 U_{150} 是用三杯风速计测定的, U_{35} 是用热线风速计测定的, 当其测得的数据分别不到 0.2m/s 和 0.1m/s 时, 由于测定误差大, 所以, 在图 4 的绘图和回归计算中去掉了这些数据。净辐射量的绝对值 $|R_n|$ 越大、风速越小时, $|\Delta a|$ 和 $|\Delta b|$ 越大。夜间冷却大时 ($R_n < -60\text{W/m}^2$, $U_{150} < 0.5\text{m/s}$) Δa 可达 $-3.0 \sim -4.0^{\circ}\text{C}$ 左右。

图 4 所表示的公式和曲线, 是假定叶温 T_l 和气温 T_a 的差 Δa 及 Δb 与净辐射量成正比, 与风速的乘幂成反比, 并用最小二乘法求出的。即采用叶面的热量平衡关系式 $R_n = A_h \cdot U_h^k (T_l - T_{a_h})$ 。 A_h 是常数, 下标 h 为高度。 $A_h \cdot U_h^k$ 虽然在形式上相当于显热输送系数, 但由于含有由结露和结霜引起的潜热传递的影响, 所以, 又与显热输送系数有所不同。改变风速的幂 k 来研究 Δa 、 Δb 的估计值与实测数据的相关关系, Δa 、 Δb 均在 $k =$

0.4附近时相关性最好, 相关系数分别为0.825, 0.802。对于叶温与净辐射量和风速的关系, 一般情况下平流热传递采用 $k=0.5$, 图4表示的就是采用 $k=0.5$ 时的回归式(Δa , Δb 的相关系数分别为0.808, 0.798), 以及采用此回归式而分别绘出的 $Rn=-15$, -45 , $-75W/m^2$ 时的曲线。

1.2 树体冻结的开始、蔓延和融解

其次, 在树体周围存在这种温度分布的条件下, 调查了幼茶树从什么部位开始冻结, 又如何传播和蔓延的。在观测期间多数情况下枝和叶的开始冻结, 从温度的变化就可简单地判定了。然而, 对于多云而冷却速度非常缓慢的夜间, 枝的短时升温不明显, 在 $-0.5^{\circ}C$ 左右持续数十分钟到数小时才冻结, 有时不能确定开始冻结的时刻及开始冻结的温度。此外, 没有结露时的叶体冻结的升温值比由于冻露而植冰(由于接触冰片而引起的冻结)的升温值少, 冻结是缓慢进行的。

图5是冻结开始数分钟前的温度分布(图5A)和各部位的冻结开始时刻(图5B)的例子。其温度分布形式, 在冻结开始数分钟

中部向上下两个方向扩展的。在该例中, 枝A—C的全部冻结的传递时间需4分钟左右。

在观测期间, 当树体的叶层上部气温(高度约35cm)下降到 $-2^{\circ}C$ 以下时, 树体确实已冻结。树体的冻结是以枝条为单位传播和蔓延的, 这种情况通过从叶体的背面进行照射, 用肉眼就可以清楚地观察到。在小孔插入热电偶的枝的开始冻结时间不比其他的枝条早, 相反, 由于一部分组织被破坏, 减慢了冻结的速度, 所以, 有比周围冻结晚的倾向。这说明热电偶插入部位并不是冻结的起因。

表 1 枝A和枝B的不同冻结蔓延方向的次数(1988.1.13—1988.2.10)

枝 A 枝 B			
	向 上	向 下	向上和向下*
向 上	10	1	1
向 下	5	2	1
向上和向下*	0	0	0

* 指从枝条中部向上、向下两个方向蔓延扩展

表1是有关枝A和枝B的冻结蔓延方向的20天的数据资料。枝A、枝B都是从下向上传递的情况居多。可以认为, 这种情况是从枝A、B以外的部位开始冻结, 并通过幼树基部的树干来传递冻结的。枝B也有从上向上传递的情况, 该情况表示是从枝B的某个部位开始冻结的。本研究的幼茶树的冻结蔓延方向因日期而异, 这说明冻结的开始部位受当日的气象条件的影响。

树体内的冻结部位和非冻结部位的界限, 在全部冻结观测期间, 和图5一样都是在树干的基部。即冻结部位是整个地上部分。由于地中温度夜间维持 $0^{\circ}C$ 以上, 所以, 这一界限从冻结开始到黎明几乎没有向下移动。

在晴朗微风的夜晚冷却加剧的条件下,

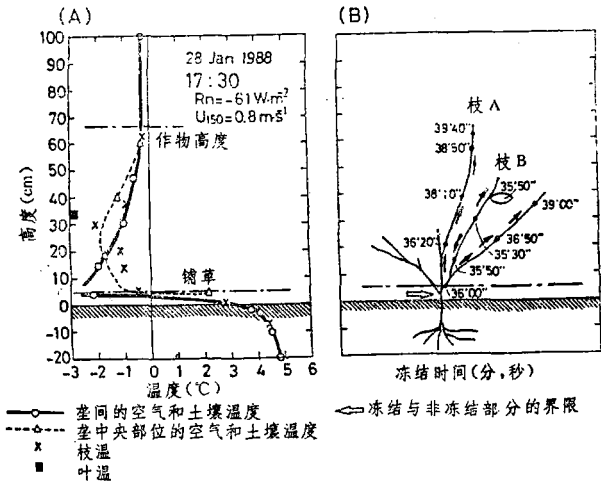


图 5 幼茶树冻结开始前的温度分布(A)及各部位的冻结开始时刻(B), 箭头表示冻结的扩展方向

前的17:30即已成为类似图3的夜间冷却型, 在铺草附近其温度最低。树体的冻结对于枝A是从株的根部向上扩展的, 枝B是由枝的

铺草上面的气温,有时比高度约在35cm附近的露在外面的叶片温度还低,若考虑到树干基部的耐寒性又比叶片弱 $1-2^{\circ}\text{C}$,则在严冬树干基部不只是存在着由冻结引起的机械裂伤,低温本身对其危害也相当大。

2. 树体冻结的开始和微气象条件的关系

本研究中把冻结的测定点分布在树体的一些部位,以便把握这些部位的冻结开始温度。但是,通常认为这些点的冻结是从别的什么地方传递来的,所以,难以正确掌握树体内最初产生冻结的部位。关于树体冻结开始的机制,人们很早就知道与叶面上的结露有关,因此,首先调查了叶面的结露和叶体冻结的关系。

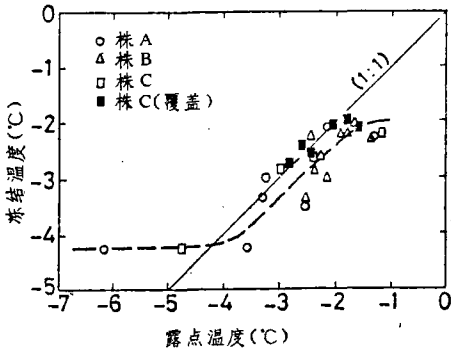


图6 裸露在外面的叶片($h=35\text{cm}$)的冻结温度与周围露点的关系(1988.2.20—3.8)

图6表示的是裸露在外面(高约35cm)的叶片的冻结温度和周围露点的关系。从诱发冻结开始的机制来看,温度最低的叶温是比平均叶温更为重要的指标,因此,这里的叶温值是用3片被测定叶中的温度最低的叶温值。树体的冻结是在叶温约 -2°C 以下的条件开始的。当叶的周围露点在 $-2-4^{\circ}\text{C}$ 左右时,露点温度越低则叶体的冻结温度越有下降的趋势。这些数据集中在露点值附近。对于露点在 -4°C 以下空气非常干燥的日期,虽然数据较少,但可以看出,冻结时的叶温在 -4°C 左右,基本上是一定的。图中

的黑方块记号是作为参照点将幼茶树全部用黑色冷布覆盖起来的数据,其露点和叶体冻结温度的关系和无覆盖的情况没多大差别。这意味着在覆盖条件下冻结开始的机制与无覆盖的是一样的。

图6所示的树体的冻结虽不一定是从被测定叶片开始的,但如果考虑到结露最初发生于叶面,而且是由于结露的冻结引起的叶内的冻结,则幼茶树冻结开始就可进行如下估计。

a. 叶周围空气露点约在 -2°C 以上的湿润日

裸露在外面的叶子上即使开始结露,由于温度偏高,叶体及其上面的露许久不冻结,叶温降至 -2°C 以下时露才开始冻结。与此同时,叶内开始冻结,并向处于过冷却状态中的整个树体传播。

b. 叶周围空气露点约在 $-2-4^{\circ}\text{C}$ 时在叶面无结露情况下即使达到 $-2-3^{\circ}\text{C}$ 也不冻结,当叶温降至露点以下,在叶面上将产生露,当达到一定量时就变成冻露,与此同时叶内冻结并向整个树体传播。

c. 叶周围空气露点约在 -4°C 以下的干燥日

即使不结露、结霜,当叶温达到 -4°C 左右时,也会在树体的某个部位开始冻结,并将传向处于过冷却状态中的整个树体。

上述的树体冻结开始温度尽管采用的是处在严冬季节的耐寒性最高时期的值,但在空气湿润日,叶温在 -2°C 左右这样相当高的温度条件下即已开始冻结。可以认为,在晚霜期的冻结开始温度与该值并无多大差异。

本研究发现,如果冻结前的温度下降速度慢,则叶体的冻结开始温度有提高的趋势,这可能是由于空气湿润日温度下降速度小的间接作用结果。

三、结 束 语

对于幼茶园树体周围的温度分布和枝条

的冻结现象进行了调查。对于树高 65cm 2 年生的幼茶树体, 出现最低温度的部位是高度约 35cm 附近裸露在外面的叶。对于夜间冷却大的条件($U_{150} < 0.5\text{m/s}$, $Rn < -60\text{W/m}^2$), 高度 150cm 气温和高度约 35cm 的叶温之间存在 $3-4^{\circ}\text{C}$ 的温度差。

冻结是以枝条为单位传播和蔓延的, 扩展到地上所有部位只需经过数分钟—十几分钟这样较短的时间。因此, 枝条各部位冻结开始温度与株体冻结开始时的温度分布基本相同。冻结在枝条内传递的方向因当日的条件而异。幼树的冻结部位, 在发生冻结的整夜里是整个地上部分, 冻结和非冻结部位的界限是处在铺草中间的树干基部。

树体的冻结开始部位严格地讲虽还不很明确, 但对于叶层上部(高度约 35cm)露在外面的叶可作如下推测。在叶周围的露点在 -2°C 以上的湿润条件下, 即使叶面上充分出现结露, 在下降到 -2°C 左右以前叶体也

不冻结, 若低于这一温度, 则结露冻结, 由于冻露的植冰作用叶体也开始冻结。对于露点在 $-2-4^{\circ}\text{C}$ 的范围, 叶温下降到露点以下时叶面上形成冻露, 并由此引起叶体开始冻结。当周围空气非常干燥, 露点在 -4°C 以下时, 无论叶面上有否结露或结霜, 叶温在 -4°C 左右叶体或枝条就开始冻结。

由于了解了幼茶树一旦从某部位的一处开始冻结, 就会波及处于过冷却状态中的幼树的整个地上部位。为了能够维持过冷却状态而防止产生霜害, 就必须努力作到在包括叶的背面在内的整个树体都不产生植冰现象。在非常干燥的夜间, 在叶面即使没产生结露(结霜)的状态下也能冻结, 但该冻结有可能是从枝的中间部位开始的。

祁纯阳摘译自日本《農業气象》

1990.9

王茂新校