

## 農耕地における熱的現象の模型実験(3)

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者	高橋, 英紀
巻/号	28巻2号
掲載ページ	p. 73-77
発行年月	1972年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 農耕地における熱的現象の模型実験

(3) 温室外表面からの顕熱伝達に及ぼす防風垣の効果

高橋 英 紀

(北海道大学農学部)

Model Experiments of Thermal Phenomena of Cultivated Field

(3) Effects of Shelter-hedge to Sensible Heat Transfer from the Outer Surface of a Greenhouse

H. TAKAHASHI

(Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo)

## 1. はじめに

北海道におけるプラスチック温室による作物栽培は、育苗を主体として、2月末ごろから開始される場合が多い。この場合、温室内部において、さらにプラスチックトンネルを併用し、作物を低温障害から防いでいる。しかし、屋間においては日射を作物にできるだけ与えるためにトンネルをはずさなければならず、また夜間においては温室内の気温は少くとも $+5^{\circ}\text{C}$ 以上には保たなければならない。そこで、温室内部において温風、温水など各種の暖房器を用いて加温を行なっているのが現状である。北海道における2月下旬の気候は、地方によりかなりの差はあるとしても、比較的気候温暖な伊達市に近い室蘭市における観測資料を見ると、第1表のごとく、2月下旬の日平均気温が $-1.8^{\circ}\text{C}$ 、最高気温でもわずか、 $0.6^{\circ}\text{C}$ 、最低気温では $-4.5^{\circ}\text{C}$ であり、きわめて低温のため加温の必要性がうかがわれる。

筆者は前報においてビニールハウスなどの表面から失われる顕熱の伝達係数を実測し、さらに風洞内での模型実験の可能性について検討を行なった結果、十分な相似

Table 1. 10 days normals of air temperature at Muroran (1931~1960).

		Air Temperature		
		Mean	Mean Max.	Mean Min.
Feb.	First Decade	-2.8	-0.2	-5.0
	Second Decade	-2.6	-0.2	-5.0
	Third Decade	-1.8	0.6	-4.5
Mar.	First Decade	-0.9	1.6	-3.5
	Second Decade	0.3	3.2	-2.2
	Third Decade	1.7	4.9	-0.7

昭和46年11月26日 風に関するシンポジウムにて発表  
昭和47年5月27日 受理

性が認められたので、今回はさらに防風垣が温室外表面からの顕熱伝達に及ぼす影響について野外における実測と風洞内模型実験による解析を行なった。

## 2. ビニール温室外表面の顕熱伝達量

温室外表面から顕熱によって失われる顕熱量( $Q_H$ )は温室外表面温度( $\theta_s$ )と外気温( $\theta_a$ )の差と顕熱伝達係数( $h$ )から $Q_H=h(\theta_s-\theta_a)$ で求められる。ここで $h$ は風速( $V_N$ :温室の2倍の高さでの風速, m/sec)の関数であり Fig. 1 に示されるような温室の場合には次式で示される。

$$\text{風上屋根 } h_{R1} = \{(V_N + 0.8)^{0.556} - 0.3\} \times 10^{-2} \quad (1)$$

[ly/min · °C]

$$\text{風下屋根 } h_{R2} = \{0.163V_N + 0.6\} \times 10^{-2} \quad (2)$$

$$\text{風上側壁 } h_{W1} = \{(V_N + 5.4)^{0.556} - 2.3\} \times 10^{-2} \quad (3)$$

$$\text{風下側壁 } h_{W2} = \{1.81V_N + 0.6\} \times 10^{-2} \quad (4)$$

一般に $\theta_s$ は純放射量、室内気温、温室の材質、厚さなどによって大きく変る。従ってガラス温室で無加温、晴天の場合には、放射による熱移動に比べると顕熱伝達

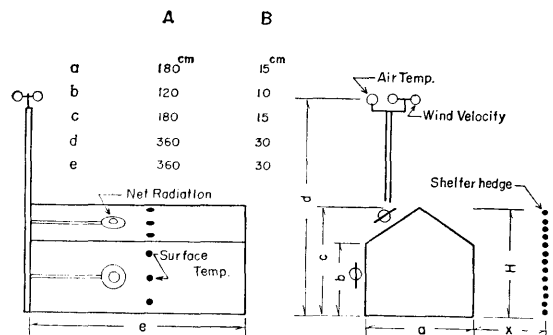


Fig. 1. Geometry of a greenhouse and a shelter-hedge and installation of equipments.

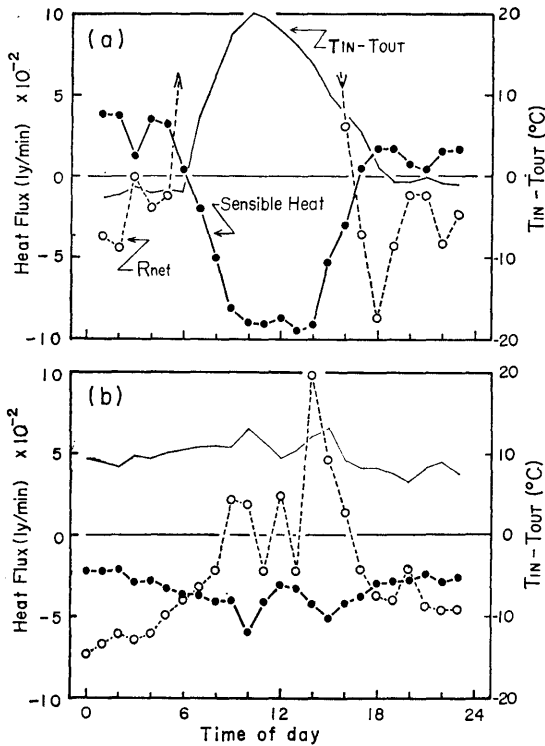


Fig. 2. Diurnal variation of heat flux at the roof surface and of the difference of air temperature between inside and outside of the vinyl house.

による熱移動は量的には小さなものとなる。しかし、北海道のようにきわめて低温で、常に加温しなければならないような地方におけるビニール温室では、曇天日などには顕熱伝達による熱損失は無視できない。

Fig. 2. は圃場に設置したビニール温室 (Fig. 1 に同じ, ビニールフィルム厚さ 0.1mm, 東西棟) において, 両側の屋根外表面における純放射量と顕熱伝達量を実測した結果である。(a) の場合には無加温で, さらに晴天日であったために夜間にはビニール表面の温度は外気温より低くなり, ビニール表面での顕熱伝達は受熱の傾向を示している。一方, 1 kW の電熱温床線を内部に張って加温した(b) の場合には, 曇天日であることも重なって, 顕熱による熱移動は常に放熱の状態であり, その量も1日の総計で見ると比較的大きな値となる。

### 3. 模型実験と実測結果の相似性

前報において温室外表面からの顕熱伝達については風速分布の相似条件を適用することにより, 風洞内において模型実験が可能であることを指摘したが防風垣を設けた場合についても風上側屋根 ( $R_1$ ) と風下側側壁 ( $W_1$ ) について野外における実測と風洞内における模型実験と

を行ない相似性を検討した (Fig. 3)。

防風垣には密閉度60%の寒冷紗を使用し, 垣の高さは温室の高さと等しく, 野外実験の場合には 1.8m, 模型実験では 15cm とした。設置した位置は温室の風上側に温室側壁から垣高 1 倍の位置である。

適用した相似条件としては, ①模型の縮率と地表面粗度長の縮率の一致, ②風速の縮率と模型の縮率の 1/3 乗との一致, の 2 条件であって前報と全く同じであり, 測定方法もほとんど変わらないため詳細は省く。

Fig. 3 を見ると風上側側壁 ( $W_1$ ) については実測と模型実験ではほとんど一致している。しかし風上側屋根 ( $R_1$ ) では実測結果の方が模型実験の結果よりもやや大きな値を示している。このことは屋外実験の場合には風向が一定ではなく主風向に対し  $\pm 45^\circ$  程度変動していることによる影響と考えられる。従って, これらのことを

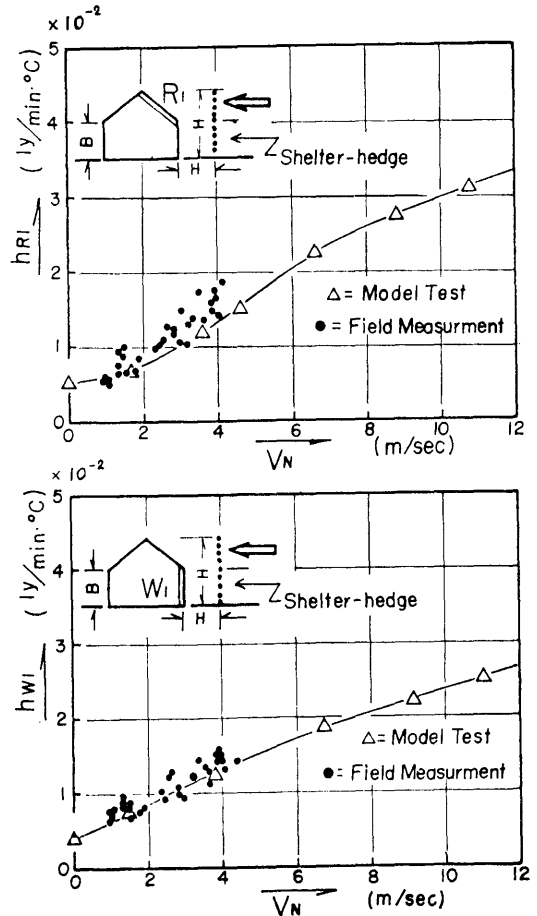


Fig. 3. The coefficients of sensible heat transfer on the surfaces of the greenhouses in the field and in the wind tunnel

考慮に入れると防風施設を設けた場合についても温室外表面からの顕熱伝達についての模型実験は可能であろう。

#### 4. 温室外表面の顕熱伝達係数に及ぼす防風施設の効果

防風施設などを設けた場合においても、風洞内において温室外表面からの顕熱伝達の模型実験が可能であることから、防風垣の効果的な高さ、距離などについて模型実験で解析を行なった。

##### (1) 風速と顕熱伝達係数

防風施設を設けていない場合の温室外表面における顕熱伝達係数は(1)~(4)式で示されるが、風上、風下側の屋根面積を、 $A_{R1}$ 、 $A_{R2}$ 、側壁面積を  $A_{W1}$ 、 $A_{W2}$  とすると、温室全体の平均的顕熱伝達係数 ( $h_0$ ) は次式で示される。

$$h_0 = \frac{A_{R1} \cdot h_{R1} + A_{R2} \cdot h_{R2} + A_{W1} \cdot h_{W1} + A_{W2} \cdot h_{W2}}{A_{R1} + A_{R2} + A_{W1} + A_{W2}} \quad (5)$$

ただし、実際の温室においては、屋根、側壁の各表面温度が異なるため、全体の顕熱伝達量を求めるために、この  $h_0$  をそのまま使用することはできないが、防風施設の効果を比較するにはさしつかえないものと思う。

防風施設を設けた場合の温室全体の平均的顕熱伝達係数 ( $h_F$ ) は  $h_0$  と同様に温室外表面の顕熱伝達係数と表面積とから求めた。

Fig. 4 は  $h_0$ 、 $h_F$ 、 $h_F/h_0$  と風速 ( $V_N$ ) との関係を示したものであり、 $V_N$  は模型実験における風速を屋外実験の風速に換算したものである。この実験では防風垣の高さは温室の高さと等しくし ( $H=C$ )、温室から垣高1倍 ( $x=1H$ ) の距離に密閉度60%のものを設置した。

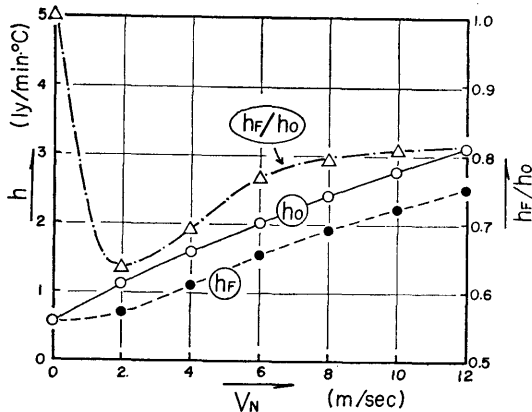


Fig. 4. Relationship between the coefficient of sensible heat transfer and the wind speed.

防風垣を設けた場合の効果 ( $h_F/h_0$ ) は風速によってかなりの変化があり、 $V_N=2$  m/sec で  $h_F/h_0=0.63$  と最も効果が認められ、 $V_N$  が 8 m/sec を越えると  $h_F/h_0 \cong 0.8$  で一定となる。

##### (2) 防風施設の高さと顕熱伝達係数

防風垣の高さは高いほど有効であると言えるが、実際に設置する場合には、高ければそれだけ防風資材にかかる風圧も大きくなるため破損の危険性が増大する。また、支柱も丈夫なものとしなければならないため、設置費用にも大きく影響する。模型実験によって防風垣の効果的な高さについて検討を加えた。

防風垣の設置位置は温室側壁から風上側に温室の高さの1倍の距離 ( $x=1C$ ) とした。使用した防風資材は密閉度60%および50%の寒冷紗で、60%の寒冷紗を用いた実験では  $V_N=3.7$  m/sec、密閉度50%の場合には  $V_N=12.8$  m/sec であった。なお、風洞内の境界層の高さ (約15cm) の関係上、防風垣の高さを温室の高さ以上とすることはできなかったが結果を Fig. 5 に示す。

密閉度60%、 $V_N=3.7$  m/sec、の場合には防風垣の高さが温室の高さの0.8以下ではかえって温室全体の顕熱伝達係数は防風垣を設置しない場合よりも大きくなっている。これは主として風上、風下両側の屋根の顕熱伝達係数が大きくなるのが原因である。これに対し、密閉度50%、 $V_N=12.8$  m/sec の場合にはこの様な現象は見られず、 $H/C$  が大きくなるに従ってほぼ直線的に  $h_F/h_0$  は減少している。これら2つの場合の差は密閉度の差よりもむしろ風速  $V_N$  の差によるものと考えられる。いず

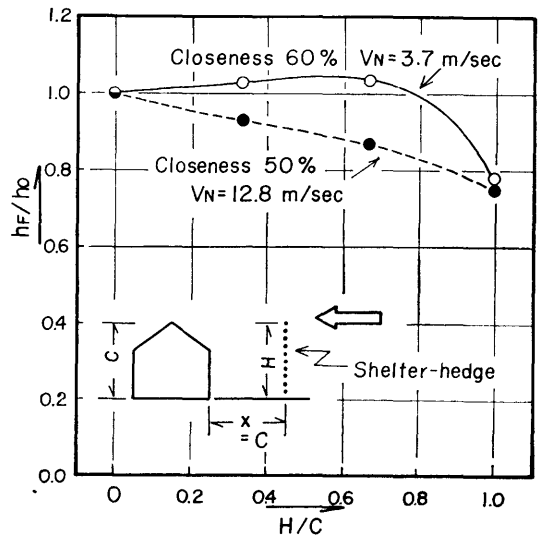


Fig. 5 Relationship between the coefficient of sensible heat transfer and the height of the greenhouse.

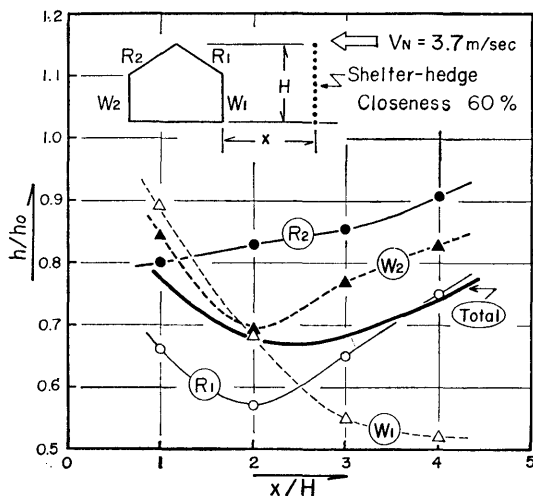


Fig. 6. Relationship between the coefficient of sensible heat transfer and the distance from the shelter-hedge to the greenhouse

れにせよ、防風垣の高さは温室の高さと同じか、またはそれ以上でなければ十分な効果は期待できないであろう。

### (3) 防風垣の設置位置と顕熱伝達係数

耕地における防風施設の減風効果は密閉度60~80%の場合、垣高約5倍の位置で最大であると言われている。しかし、温室などを対象とした測定例は今まで全くなかったと言ってよい。従って、ここでは密閉度60%、高さは温室の高さと等しい防風垣について設置位置を変えて測定を行なった (Fig. 6)。

風洞のスペースの関係上、垣高4倍までしか測定することができなかったが、温室全体の顕熱伝達係数に及ぼす防風垣の効果は垣高2~3倍の時に現われていることがわかる。さらに屋根、側壁の各々について見ると、風上側の屋根 ( $R_1$ ) および風下側の側壁 ( $W_2$ ) では、 $x=2H$ 付近で最も効果が認められるが、風下側屋根 ( $R_2$ ) は相対的に効果が少ない上に、距離 ( $x$ ) が大きくなるに従って直線的に効果が減少している。また、風上側側壁 ( $W_1$ ) は、この範囲では  $x$  が大きくなるに従って  $h/ho$  が小さくなって効果が増大しているが、図から推定すると  $x/H=4\sim5$  付近で  $h/ho$  の最小値が現われ、その後、元にもどるものと予想される。

## 5. ま と め

温室外表面からの顕熱伝達に対する防風施設の効果について簡単な屋外実験を行ない、風洞内模型実験と比較した。その結果、防風施設を設けた場合についても風洞内における模型実験が可能であることが明らかとなったので、防風垣が温室外表面からの顕熱伝達に及ぼす効果について模型実験により検討を行ない、次の結果が得られた。

1) 密閉度60%、高さが温室の高さと等しい防風垣を温室から垣高1倍の位置に設置した場合、温室全体の顕熱伝達係数は、防風施設を設けない場合との比 ( $h_F/ho$ ) で表わすと、 $V_N=2\text{ m/sec}$  付近で最小となり、 $V_N>8\text{ m/sec}$  では  $h_F/ho\approx 0.8$  ほぼ一定となる (Fig. 4)。

2) 防風垣の高さが温室の顕熱伝達に及ぼす影響については、密閉度60%、 $V_N=3.7\text{ m/sec}$  および密閉度が50%、 $V_N=12.8\text{ m/sec}$  の場合について、防風垣を温室の高さの1倍 ( $x=1C$ ) の位置に設置して測定した結果、防風垣の高さは少くとも温室の高さ以上でなければ効果を期待できないことが明らかとなった (Fig. 5)。

3) 温室と防風垣との距離については、密閉度60%、高さが温室の高さと等しい防風垣を用いて  $V_N=3.7\text{ m/sec}$  で測定した結果、垣高2~3倍の距離に設置するのが最も有効と認められた (Fig. 6)。

## 参 考 文 献

- 1) 中島正善(1972): ピニールハウスの防風に関する模型実験, 北大農学部農業工学科卒業論文
- 2) 高橋英紀(1972): 農耕地における熱的現象の模型実験(2), 温室外表面からの顕熱伝達, 農業気象, 28, 34-37
- 3) 横田廉一, 堀口郁夫, 高橋英紀(1966): 寒冷紗を使用した防風施設に関する研究(I), 平垣, 単櫓の場合の防風効果, 北大農業物理研究室報告, 1, 12-30
- 4) 横田廉一, 高橋英紀(1972): 複雑に造成されている防風林の効果の実測と模型実験, 農業気象, 28, 401-406
- 5) 横田廉一, 高橋英紀, 萩原守(1972): 農耕地における熱的現象の模型実験(1), 防風垣後方の気温の分布, 農業気象, 27, 436-441

### Summary

In order to make clear the influence of a shelter-hedge on the sensible heat transfer from the surface of a greenhouse, experiments were carried out in field and in a wind tunnel, respectively.

The geometries of the greenhouse and the shelter-hedge are shown in Fig. 1. Similarity problem between field measurement and model test was examined by using the data of heat transfer at the outer-surface of greenhouses which were protected from wind by the shelter-hedge. The results of the model test in the wind tunnel were in well accordance with those from field measurements (Fig. 3).

The effects of shelter-hedge on sensible heat transfer from the greenhouse were studied more minutely by using a model house in the wind tunnel. The results obtained are summarized as follows:

- 1) The average heat transfer coefficients of greenhouses with and without the shelter-hedge were calculated from eq. 5, respectively. Fig. 4 indicates the wind dependence of  $h_F/h_0$  (where  $h_F$  and  $h_0$  denote respectively the average heat transfer coefficients for greenhouses with and without the shelter-hedge). The ratio  $h_F/h_0$  decreased firstly with wind velocity, reached the minimum at wind velocity of 2m/sec, increased secondary with wind velocity and became nearly constant in the wind range over 8m/sec.
- 2) The experiments were carried out under conditions that  $x=1 \cdot C$ ,  $V_N=3.7$  and 12.8m/sec and CL=60 and 50% (where  $z$  denotes the distance between the greenhouse and the shelter-hedge,  $C$  the height of greenhouse,  $V_N$  the wind velocity and CL the closeness of shelter-hedge) to find out the influence of height of shelter-hedge upon the heat transfer from the greenhouse. Experimental results indicate that the shelter-hedge higher than that of greenhouse is more effective from the standpoint of greenhouse heating (Fig. 5).
- 3) The influence of shelter-hedge on the heat transfer from the greenhouse was found to change with the distance between the greenhouse and the shelter-hedge, as can be seen in Fig. 6. These relations were approximated by concave curves. The minimum value of ratio  $h_F/h_0$  was found in the range from  $x=2 \cdot H$  to  $x=3 \cdot H$ .