温室の日暖房負荷に関する測定と解析

古在豊樹・郡司智子*・渡部一郎・林 真紀夫・伊東 正

(千葉大学園芸学部)

Measurements and Analyses of the Daily Heating Load
of a Greenhouse

Toyoki KOZAI, Tomoko GUNJI*, Ichiro WATANABE,
Makio HAYASHI and Tadashi ITO

(Faculty of Horticulture, Chiba University,)
Matsudo, Chiba 271

1. はじめに

温室の暖房機容量を決定するために必要な、最大暖房負荷の算定に際しては、放熱係数の最大値が第1義的に重要である。この場合、設計内外気温差と温室形態は設計者が任意に定める値であり、また、地中伝熱量と透過日射量が最大暖房負荷に及ぼす影響は、通常、無視し得るからである。このため、各種温室の放熱係数の値に関しては従来から多くの報告があり、施設園芸環境制御基準資料(1977)、岡田(1980)などによって整理されている。

ところが、一定期間における暖房用重油消費量を予測するために必要な平均日暖房負荷、または、期間暖房負荷は、上述の五つの要因をすべて考慮しないと算定できないこともあって、その算出法や各要因の基準の数値は必ずしも明確にされていない(Strøm and Amsen, 1981)。

平均日暖房負荷を算定する方法を確立するには、まず、暖房温室熱収支の長期間にわたる観測が不可欠であるが、それに関する報告は、環境制御基準資料グループ(1978)、林ら(1979)などの他には余り見当たらない。

本報告では、大型4連棟ガラス室における温風暖房機重油消費量、暖房デグリアワー、地中伝熱量、屋外日射量などの測定にもとづいて、平均日暖房負荷の算定法および算定に必要な諸数値について検討する。

2. 材料および方法

2.1 対象温室

測定対象温室の概要をTable 1に示した。温室は埼玉県南埼玉郡宮代町に位置する。保温用カーテンの密閉度は良好であった。キュウリ(品種:ときわひかり3号P型)の栽植は、1棟当り3畦6条、株間は50 cmであった。畦にはポリエチレンフィルムマルチが、通路には稲ワラマルチが敷かれた。

室温はマイクロコンピュータにより制御された(古在ら, 1982)。保温カーテンは、大略、午後5時頃から翌朝7時30分頃まで閉じていた。栽培全般は温室管理者の中野勝栄氏により慣行にもとづいて行なわれた。

2.2 測定法

測定は1980年12月中旬から翌年4月初旬までの間のキュウリ栽培期間中に行なった。温室内外気温(高さ1.4 m)と地温(畦肩部深さ20 cm)は熱電対、地中伝熱量(地下1 cm深、畦中央1点と通路1点の計2点)は熱流板(英弘精機(株), CN 18型)、日射量はソーラメータ(英弘精機(株), MS 100型)を用いて、各々、測定した。上記計測素子はマイクロコンピュータおよび打点式記録計に接続した。

温風暖房機の稼動時間はマイクロコンピュータおよび積算時間計(松下電工(株), TH2345型)によって、また、温風暖房機のA重油消費量はドリップ型油量計(金門製作所(株)製)で測定した。積算時間計と油量計の読取りおよびそれらの記帳は毎朝7時頃に行なった。

昭和56年4月2日全国大会にて発表

昭和57年8月11日受理

* 現在 株式会社大洋興業

Present address Taiyo Kogyo Co. Ltd., Nihonbashi,
Tokyo 103

Table 1. Description of the glasshouse.

Orientation	North east - South west
Number of spans	4
Length of the house	57 m
Floor area	1,644 m ²
Wall area	2,277 m ²
Roof slope	26.3°
Height of sides	2.2 m
Movable thermal screen for roof	Clear polyethylene film
Fixed thermal screen for walls	Clear polyethylene film
Site	36.0°N, 149.5°E (Miyashiro, Saitama)
Heater	Microcomputer controlled hot air heaters (Nepon Co., Model HK305TC) with perforated polyethylene ducts (The setpoint temp. is about 11°C during the nighttime and about 15°C during the daytime)
Ventilator	Microcomputer controlled roof ventilators (The setpoint temp. is about 25°C)
Crop	Cucumber Transplanted on the 10th of October in 1980 Harvested whole plants on the 15th of Feb. in 1981 Re-transplanted on the 15th of March in 1981
Mulching	Polyethylene film on the ridge beds and dry rice straw on the furrows

3. 結 果

3.1 夜間暖房負荷

(1) 夜間壁面放熱量の経日変化

夜間壁面放熱量の経日変化を柱状グラフとして Fig. 1 に示す。ここで、「夜間」とは、17時以降、翌朝7時までとした。また、たて軸の壁面放熱量は床面積当たりとして示している。柱状グラフ中の斑点状部分は地中伝熱量に由来し、白色部分は暖房による熱供給に由来する。地中伝熱量は、前述の2点における測定値の各々に、畦と通路の面積割合を重み係数として乗じたものの和である。夜間暖房負荷は次式で求めた。

夜間暖房負荷

$$= (\text{夜間重油消費量} \times \text{重油発熱量} \times \text{暖房機効率}) / \text{床面積}$$
 ここで、重油発熱量=9,000 kcal/l, 暖房機効率=0.82とした。夜間地中伝熱量は、12月から2月までは110~130 kcal/m²/dayであり、壁面放熱量の約20%を占めた。他方、3月には夜間地中伝熱量は180~260 kcal/m²/dayであ

り、壁面放熱量の50~100%を占めた。

(2) 夜間暖房負荷と夜間暖房デグリアワー

Fig. 2に、夜間暖房負荷と夜間暖房デグリアワーの関係を示す。ここで、夜間暖房デグリアワーは、17時から翌朝7時までの室温と外気温の差の積分値であるとした。測定期間中、夜間においては常に、室温が外気温より高かった。同図に示したように、3月においては、夜間暖房デグリアワーが約70~100°C・hr/dayの範囲では、暖房負荷 q_n はゼロとなった。

(3) 夜間暖房開始時の環境要因

夜間の暖房開始時刻に関しては、12月~1月において、最も早かった日が12月20日

の日没14分前、最も遅かった日が1月15日の日没3時間20分後であり、平均すると、日没60分後であった。日没前に暖房機が点火したのは12月20日の1例のみであった。

12月~1月における夜間暖房開始時の内外気温差は、最小5.2°C(1月14日)、最大10.5°C(1月21日)、平均7.5°C(平均外気温3.8°C、平均室温11.3°C)であった。また、同時刻における地中伝熱量は、最小で6.7 kcal/m²/hr(12月9日)、最大で10.5 kcal/m²/hr(1月16日)、

Fig. 1. Daily changes in nighttime heat loss from walls. During the period from December in 1980 to February in 1981, the nighttime heating load accounted for only 80% of the heat loss, on the average. The heat released from the floor surface (soil heat flux) during night accounted for the rest of the heat loss.

Fig. 2. Relationship between nighttime heating degree hour and nighttime heating load (5p.m. – 7a.m.).

平均で $8.8 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ であった。なお、地中伝熱量の正符号は、Fig. 3 以外では、上向きを意味する。

3.2 昼間暖房負荷

(1) 昼間暖房負荷と昼間暖房デグリアワー

12月～1月における昼間暖房デグリアワーは最小 $65 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{hr/day}$ 、最大 $108 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{hr/day}$ 、平均 $83 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{hr/day}$ であった。

他方、測定期間中、午前9時以降で、かつ、日没以前に暖房機が稼動したのは12月20日および1月2日の2例のみであった。1月2日の昼間における屋外日射量、地中伝熱量、室温および外気温の経時変化をFig. 3に示す。当日は、午前中はみぞれまじりの雨天で、外気温は

Fig. 3. Diurnal changes in solar radiation outside, soil heat flux at the floor surface, and air temperatures inside and outside. From 11:30 a.m. to 7 p.m. the air temperature inside was maintained above the setpoint without heating, mainly because of the solar radiation input.

$0 \sim 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 、日射量は $10 \sim 100 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ であった。午後には小雨となり外気温は $5 \sim 7 \text{ }^\circ\text{C}$ に上昇し、日射量の最大は $160 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ となった。

(2) 朝方暖房終了時の環境要因

朝方の暖房終了時刻(その時刻以降、夕刻まで暖房機が稼動しなかった時刻)は、12月～1月において、最も早かった日が12月19日の日出26分後、最も遅かった日が1月2日(みぞれまじりの雨天日)の日出260分後、平均すると日出74分後であった。1月2日を除外した残りの日の暖房終了時刻の平均は日出64分後であった。測定期間中、日暖房負荷に占める昼間暖房負荷の割合は約5%であった。

12月～1月における暖房終了時の内外気温差は、最小 $9.7 \text{ }^\circ\text{C}$ (12月19日)、最大 $15.4 \text{ }^\circ\text{C}$ (1月7日)、平均 $14.0 \text{ }^\circ\text{C}$ (外気温平均 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 、室温平均 $14.5 \text{ }^\circ\text{C}$) であった。同時刻における地中伝熱量は、平均 $0.5 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ (最小 -0.8 、最大 $5.3 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$)、また、同時刻における屋外全日射量は、最小 $30 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ (12月19日)、最大 $192 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ (1月14日)、平均 $118 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ であった。

4. 考 察

4.1 夜間暖房負荷

(1) 夜間暖房デグリアワーと夜間暖房負荷

Fig. 2 において、夜間暖房負荷 q_n は夜間暖房デグリアワー DH_n に比例していない。この事実は、既に、関山ら(1980)によって、トマト栽培ガラス室に関して報告されている。 DH_n がある値以下になると q_n がゼロとなるのは、夜間室温を設定値以上に保つための熱源として、夜間地中伝熱量 q_{soil} だけで足りるからである。たとえば、 $DH_n = 70 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{hr/day}$ で、かつ、無暖房であった場合、夜間を14時間とすると、地中伝熱量 q_{soil} のみで、平均 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($= 70/14$) の内外気温差が保たれたことになる。この内外気温差は、(地中伝熱量・保温比/放熱係数)によっても求められる(古在, 1981)。

Fig. 1 に示したように、本測定においては、 q_{soil} は毎日ほぼ一定値となった。ただし、3月の q_{soil} は12月～3月の q_{soil} より大であった。この第1の原因は、深さ20 cmにおける地温が、12月から2月初旬までは $16 \sim 18 \text{ }^\circ\text{C}$ であったのが、3月20以降には $23 \sim 27 \text{ }^\circ\text{C}$ に上昇したことにある。この地温上昇は、第1に鶏糞多施用 ($10 \text{ t}/10 \text{ a}$) による土壌中における発酵発熱、第2に、3月15日のキュウリ苗定植直前の約一週間、温室を終日にわたり密閉状態に保ったこと、第3に、キュウリが苗状態であったために、定植後数週間にわたり床面が日射の直射を少なからず受けたこと、第4に、3月になって屋

外日射量の増大、室内の乾燥、外気温の上昇などのために、換気操作をしても昼間の平均室温が換気設定室温より1~3℃高く保たれたことなどのためと考えられる。

q_{soil} が夜間設定室温のみならず、土壌の熱的物性値、昼間屋外日射量、作物植被度、土壌微生物の呼吸熱などによって変わることは、既に、小倉(1982)、関山(1982)、岡田(1980)などによって指摘されている。室温設定値が地温より高い場合には、地中伝熱量の向きが下向きとなることもあろう(岡田, 1980)。

さて、上述の議論から、夜間暖房デグリアワーが小さい場合は特に、 q_{soil} の大小が、夜間暖房負荷に大きな影響を及ぼすことが明らかである。しかしながら、従来、種々の条件下における地中伝熱量の体系的な測定例は少なく、理論的解析も余り進められていない。今後、これに関する測定例の集積と解析が期待される。

(2) 夜間暖房開始時の環境要因

夜間暖房開始時における平均内外気温差 $\Delta\theta$ は7.5℃、平均上向き地中伝熱量 q_{soil} は8.8 kcal/m²/hrであった。暖房開始時刻は、1例を除き、日没後であった。したがって、日没後の暖房開始時刻における平均放熱係数 h は、その時間における室内空気および作物体からの放熱量 q_a を3 kcal/m²/hr とすると、

$$h = (q_{soil} + q_a) \cdot \beta / \Delta\theta \\ = (8.8 + 3.0) \cdot 0.72 / 7.5 = 1.13$$

によって求められる。この放熱係数 h の値は、通常の一層可動カーテン付ガラス室のそれ(3.5 kcal/m²/hr/℃)の約1/3である。この理由としては、第1に地中伝熱量測定が不正確で実際より小さな測定値が得られたことが考えられる。第2に、日没後無加温時における放熱係数の値は暖房時のそれより小さいことが考えられる。

放熱係数 h の値は、室内被覆内面における対流伝熱係数の値によって大きく異なることが知られている。実際、暖房方式によって室内対流の様相が異なり、それに伴って、放熱係数が異なることは実験的にも確かめられている(岡田, 1981)。本測定においても、暖房時の放熱係数 h の平均値は3.3 kcal/m²/hr/℃であり、温風暖房機の稼動時間が長いほど h は大となる傾向を示した(相関係数0.86)。無暖房時と暖房時における放熱係数の値の違いは、今後、実験的に更に明らかにする必要がある。

4.2 昼間暖房負荷

前述の通り、本測定例に関しては、午前9時以降日没以前に暖房機が稼動したのは12月20日と1月2日の2例のみであった。12月20日には日出106分後まで暖房機が稼動し、日没14分前に再稼動した。1月2日には、日出4時間20分後まで暖房機が稼動し、日没2時間30分後に再稼動した。その他の日に関しては、昼間暖房負

荷とは、実質的には、日出から日出約1時間後までの暖房負荷を意味した。

朝方の暖房終了時刻における平均室内外温度差は14℃、平均地中伝熱量は0.5 kcal/m²/hrであったから、14℃の内外温度差を維持するための主たる熱源は日射(平均屋外日射量118 kcal/m²/hr)であったことになる。関東地方においては、昼間、曇天または雨天であっても屋外日射量が100 kcal/m²/hr前後であることは良く観測される。したがって、昼間暖房室温設定値が、15℃前後、外気温が0℃以上であれば、曇天日と言えども、無暖房で室温を設定値以上に維持することが可能となる。

本測定期間中においては、曇雨天日の測定例が少なかった(日積算日射量が2,000 kcal/m²/day以下であった日が5例)。したがって、ここで断定することはできないが、一般に、関東以西では、昼間暖房設定室温が15℃以下の温室に関して、全日暖房負荷に対する昼間暖房負荷はせいぜい5~10%程度と考えて良いであろう。

5. 総合考察

5.1 日暖房負荷算定法の提案

上述の結果および考察にもとづいて、実用的見地から、日暖房負荷の算定法を以下の式(1)~(3)にまとめてみた。

$$q_g = q_d + q_n \quad (1)$$

$$q_d = h_d \cdot DH_d / \beta - q_{solar} \quad (2)$$

$$q_n = h_n \cdot DH_n / \beta - q_{soil} \quad (3)$$

ここで、 q_g 、 q_d 、および q_n は、各々、床面積当りの全日、昼間(日出から日没まで)、および夜間(日没から日出まで)暖房負荷(kcal/m²/day)である。 h_d 、 h_n は、各々、昼間および夜間における温室の放熱係数(kcal/m²/hr/℃)である。 DH_d 、 DH_n は、各々、昼間および夜間の暖房デグリアワー(℃・hr/day)である。また、 β は保温比(=床面積/壁面積)、 q_{solar} (kcal/m²/day)は温室室内吸収日射による取得熱量のうち昼間暖房負荷の減少に寄与する熱量、 q_{soil} (kcal/m²/day)は夜間地中伝熱量である。ただし、 q_d または q_n が負値となった場合は、各々の値を、改めてゼロとする。

式(2)、(3)の h_d と h_n は、種々の文献(たとえば、三原・林, 1979; 岡田, 1980)に与えられている。放熱係数は被覆資材の種類、被覆法、水滴付着の有無、屋外気象条件などによって異なる。それら諸条件が昼夜共に同じであれば h_d と h_n は同一となる。 DH_d と DH_n は林・古在(1982)によって与えられた暖房デグリアワー線図によって求められる。

5.2 昼夜の暖房負荷の分離

式(1)において q_g を q_d と q_n に明確に分離したのは主に次の二つの理由による。第1に本測定期間においては q_g に対する q_d の比は5%程度であった。したがって、一般に、関東以西の太平洋沿岸地方で、昼間の暖房設定室温が15℃程度の場合、 q_g に関して5%程度の算定誤差を許容し得るのであれば、 q_n をもって q_g の第1近似とすることができよう。更に実用的見地に立てば、上記の場合、 q_n の1.05～1.10倍程度をもって q_g とすることもできよう。もちろん、この考え方は上記の条件下における一定期間の平均的な q_g を求める際にのみ適用し得るのであって、個々の特定の日あるいは東北・北海道地方や日本海沿岸地方において q_d が q_g に比して無視しえないほど大きい場合は、 q_d と q_n の和として q_g を求めねばならない。

第2に、実際栽培においては、夜には保温カーテンを閉じるが昼間にはそれを開けておくことが多く、この場合、昼間における温室放熱係数 h_d 、 h_n の値が2.0～5.0 kcal/m²/hr/℃程度の範囲で変わり得る。この時、昼夜の平均放熱係数を用いて壁面放熱量を算定すると、大きな算定誤差をもたらし得る。

5.3 昼間暖房負荷算定式

日照がある時刻には常に暖房負荷はゼロであり、逆に、日照がなく、かつ、暖房設定室温が外気温より高い場合は常に暖房が必要であるとの仮定にもとづく暖房デグリアワー算定式がある(三原, 1978)。しかし、Fig. 3および3.2(2)で示したように、本測定に関しては、雨天日で外気温が5℃前後であっても、ほぼ日射熱源のみで室温が15℃前後に保たれた測定例があるし、また、逆に、晴天日においても、日出後約1時間は暖房を必要とすることが多かった。これは、 q_d に及ぼす日射量の影響が、日射量、放熱係数などの大小によって変わるからであろう(Bot, 1981)。

そこで、筆者らは、式(2)の q_d 算定式における q_{solar} は、大略、次のように表わされると考えた。

$$q_{solar} = \int_{t_1}^{t_2} q(t) dt \quad (4)$$

$$q(t) = \text{Min}(q_s \cdot \tau \cdot \alpha, h_d \cdot \Delta\theta / \beta) \quad (5)$$

ここで、 t_1 、 t_2 は、各々、日出、日没時刻、 q_s は時刻 t における屋外日射量、 τ および α は、各々、温室の日射透過率および作物(床面)日射吸収率、 h_d 、 $\Delta\theta$ 、および β は、各々、放熱係数、時刻 t における設定室温と外気温の差、および保温比である。また、 $q(t) = \text{Min}(q_s \cdot \tau \cdot \alpha, h_d \cdot \Delta\theta / \beta)$ は、 $q_s \cdot \tau \cdot \alpha$ と $h_d \cdot \Delta\theta / \beta$ の小さい方を $q(t)$ とすることを意味し、 $q(t)$ は時刻 t において、温室内部吸収日射量のうちの暖房負荷減少に寄与する熱量

を表わす。すなわち、 $(h_d \cdot \Delta\theta / \beta) > (q_s \cdot \tau \cdot \alpha)$ の場合は $(q_s \cdot \tau \cdot \alpha)$ 全部が暖房負荷の減少に貢献する。しかし、 $(h_d \cdot \Delta\theta / \beta) \leq (q_s \cdot \tau \cdot \alpha)$ の場合は、それが $(h_d \cdot \Delta\theta / \beta)$ だけとなる。 $q(t)$ の一部は温室内部における蒸発散によって潜熱化するが、潜熱も暖房負荷の減少に貢献するとここでは考えている。

式(4)において、 β は、元来、定数とみなせる。そこで、便宜的に、 h_d 、 τ 、 α および $\Delta\theta$ を定数とみなすと、 q_{solar} を日積算屋外日射量 $\int q_s dt$ の関数として近似的に表わし得る。

Fig. 4 は、 q_s が日出から日没までに関し正弦曲線の2乗の関数で近似できるとした場合の q_{solar} と日積算屋外日射量 $\int q_s dt$ の関係を示したものである。ただし、Fig. 4 においては、 $(\tau \cdot \alpha)$ は0.5とし、パラメータとしては $(h_d \cdot DH_d / \beta / T)$ を選んだ。ここで、 T は日出から日没までの時間で、 DH_d / T は、式(4)における $\Delta\theta$ の平均値を意味する。したがって、たとえば、 $(h_d \cdot DH_d / \beta / T) = 107 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ の場合、 $\beta = 0.7$ 、 $h_d = 5 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ /℃とすれば、 $(DH_d / T) = 15^\circ\text{C}$ となる。

なお、一定期間中における q_{solar} の平均値は、式(4)によって求めた各日における q_{solar} の平均値として得ら

Fig. 4. q_{solar} in equations (2) and (4) as a function of daily integral of solar radiation outside, $\int q_s dt$. h_d , DH_d , β , and T denote, respectively, heat transmission coefficient of the greenhouse during the daytime (kcal/m²/hr/℃), heating degree hour during the daytime (°C·hr/day), wall area-floor area ratio and the time period from sunrise to sunset (hr). τ , α , $\Delta\theta$ and q_s in eq. (5) denote, respectively, light transmissivity of the greenhouse, absorptivity of the crop and/or floor, temperature difference between inside and outside, and solar radiation at time t . $(\tau \cdot \alpha)$ was assumed to be 0.5.

れる。一定期間中の q_s の平均値に対して式(4)をただ1度適用することによって q_{solar} の平均的な値を得ることはできない。

Fig. 4を得るための諸仮定がどの程度まで現実に対応するかは今後の検証に待たねばならない。とは言え、 q_{solar} は、 $\int q_s dt$ の増大に伴い増大するが、増大の程度は、 h_d と (DH_d/T) が大であるほど大で、また、 β が小であるほど大であるという定性的傾向は、熱収支の見地から、問題ないと考えられる。

元来、 q_g に比して小さい q_d を正確に算定するために、 q_{solar} を式(4)以上に詳細に考慮する必要は、実用的見地からは、少ないと考えられる。

また、昼間の地中伝熱量は、Fig. 3 に示したように、曇天日の屋外日射量に比して十分小さいので、式(2)の q_d 算定式において考慮する必要は少ないと考えられる。

5.4 夜間暖房負荷

式(3)が夜間暖房負荷 q_n の算定式として妥当かどうかは、一般に、Fig. 2 に示したような DH_n と q_n の関係が十分に相関係数の高い一次回帰式で表わされるかどうかによる。もし、両者の関係が一次回帰式で表わされるとすれば、その直線の勾配は式(3)における (h_n/β) に、また、 y 切片は $(-q_{soil})$ に対応する。

Fig. 2 における 12~2 月の DH_n と q_n の関係を一次回帰式で表わすと、

$$q_n = 4.6 \cdot DH_n - 160 \quad (6)$$

となり、その相関係数は 0.8 となった。式(6)と式(3)との対応関係から、 $(h_n/\beta) = 4.6$ であるので、 $\beta = 0.72$ を代入すると、 $h_n = 3.3 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}/^\circ\text{C}$ となる。他方、 q_{soil} は $160 \text{ kcal/m}^2/\text{day}$ である。式(6)に関する相関係数が 0.8 と余り高くないのは、Fig. 2 において、2 月の DH_n と q_n の相関が非常に低いことに起因している。この原因は明らかではない。とは言え、式(6)で与えられる一次回帰式の相関係数が 0.8 であり、更に、 h_n と q_{soil} の値が従来の文献値(環境制御基準制御グループ, 1978; 林ら, 1979)などと同様であることから、式(6)あるいは式(3)の実用性はあると考えてよいであろう。ただし、式(6)に関する相関係数を更に高くするには、一次回帰式の係数値を、各地域毎に月別に統計処理することによって、 q_{soil} と h_n の経時的变化を考慮するなどの処置が必要であろう。

6. 摘 要

大型 4 連棟ガラス室(Table 1 参照)における温風暖房機重油消費量、暖房デグリアワー、床面地中伝熱量、屋外日射量などの測定を行なった。それら測定値の解析のもとづいて、日暖房負荷算定式の検討を行なった。それ

らの結果を要約すると次のようである。

(1) 夜間暖房負荷は夜間暖房デグリアワーに正比例しなかった(Fig. 2)。これは、12月~2月においても、夜間暖房負荷は夜間壁面放熱量の約 80% しか占めず、残りの約 20% は夜間地中伝熱量が占めたからである(Fig. 1)。

(2) 昼間、曇雨天で屋外日射量が $100 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ 前後であっても、無暖房温室の室温は外気温より約 10°C 高く維持された(Fig. 3)。このときの床面地中伝熱量はほとんどゼロであったので、上記内外気温差は、主に、透過日射量によって維持されたと考察された。

(3) 他方、晴天日と言えども、日出後 1 時間以内は、暖房機が稼動することが多かった。これは屋外日射量が $100 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$ 以下であるのに、室内外気温差 14°C 以上を維持しなければならなかったからである。

(4) 日暖房負荷は式(1)~(5)で算定し得ると考えられた。ただし、式(2)、(3)の q_{solar} および q_{soil} に関しては、更に、実測値の集積と解析が必要である。

謝 辞

本測定に際しては、埼玉県園芸試験場稲山光男氏、温室管理者の中野勝栄氏、および横河電機製作所的小林肇氏に御協力いただいた。深甚の謝意を表します。原稿の作成過程においては、千葉大学大学院学生武内英雄氏の貴重な示唆をいただいたことを感謝いたします。

引用文献

- 1) Bot, G. P. A., 1981: Heating load of a glass-house from the physical point of view. *Acta Horticulturae*, **115**, 335~339.
- 2) 林 真紀夫, 岡田益己, 小倉孝雄, 山中孝一, 三原義秋, 1979: 温室の期間暖房負荷に関する研究(1), 昭和 54 年度日本農業気象学会大会講演要旨, 3.
- 3) 林 真紀夫, 古在豊樹, 1982: 各種暖房デグリアワー算定値と実測値の比較および暖房デグリアワー線図の提案, 農業気象, **38** (1), 29~36.
- 4) 環境制御基準資料調査グループ, 1978: 大型ビニールハウスにおける暖房負荷の実態調査, 農業気象, **33** (4) 189~193.
- 5) 古在豊樹, 1981: 暖房負荷の算定法と伝熱諸元間の関係, 農及園, **56**, 623~628.
- 6) 古在豊樹, 伊東 正, 稲山光男, 小林 肇, 1982: マイクロコンピュータによる温室環境管理 システムの開発と実用化試験, 農業気象, **38** (1), 45~50.
- 7) 三原義秋, 1978: 日照を考慮した温室暖房デグリアワーの算定式, 農業気象, **34** (2), 83~85.
- 8) 三原義秋, 林 真紀夫, 1979: 温室の保温に関す

- る研究(1), カーテンの有無および種類と温室の熱貫流率, 農業気象, **35** (1), 13~19.
- 9) 日本農業気象学会, 1977: 施設園芸環境制御基準資料, 農業気象, **33** (特別号), 58pp.
- 10) 日本農業気象学会施設園芸研究部会, 1982: 温室の熱収支関係量の評価について, 第3回研究集会資料, 58pp.
- 11) 小倉祐幸, 1982: 無加温ハウスの純放射, 地熱流の測定例, 農業気象, **37** (4), 303~308.
- 12) 岡田益己, 1980: 暖房, 「温室設計の基礎と実際(三原義秋編著)」, 養賢堂, 182~204.
- 13) Okada, M. and Takakura, T., 1980: The heating load of greenhouses. (1) Convective heat transfer coefficients at the inside cover surface of a greenhouse as influenced by heating pipe positions. *J. Agr. Met.*, **35** (4), 235~242.
- 14) 関山哲雄, 岡部勝美, 藤原徹夫, 古館敬一, 吉岡邦夫, 松崎 治, 1980: 暖房デグリアワーと燃料消費量との関係の実測結果, 昭和55年度日本農業気象学会大会講演要旨, 46.
- 15) 関山哲雄, 1982: 気象環境条件と地中伝熱量との相互関係, 農業電化, **35** (6), 16~22.
- 16) Strøm, J. S. and Amsen, M. G., 1981: Heat consumption model for greenhouse nurseries. *Acta Horticulturae*, **115**, 503~510.

Summary

Measurements of the heavy oil consumption for heating, heating degree hour, soil heat flux at the floor surface, solar radiation outside *etc.* were made on a four-span glasshouse (see Table 1). Based on the analyses of the measured data, a set of equations for estimating the daily heating load was proposed. The results can be summarized as follows:

(1) Nighttime heating load was not proportional to nighttime heating degreehour (Fig. 2). During the period from December in 1980 to February in 1981, the nighttime heating load accounted for only 80% of the nighttime heat loss from walls, on the average. The heat released from floor surface (soil heat flux) during night accounted for the rest of the nighttime heat loss (Fig. 1).

In March, the nighttime air temperature inside the glasshouse without heating was maintained about 5 degrees centigrade higher than that outside, due to the heat released from the floor.

(2) The daytime air temperature inside the glasshouse without heating was maintained about 10 degrees centigrade higher than that outside, under rainy or overcast conditions when the solar radiation outside was about 100 kcal/m²/hr (Fig. 3). This temperature difference between inside and outside was considered to be maintained by the solar radiation input into the glasshouse, because another possible heat input, the soil heat flux at the floor surface, was almost zero.

(3) On the other hand, a hot air heater was often turned on within one hour after sunrise even on a sunny day, when solar radiation outside was less than 100 kcal/m²/hr and the air temperature difference between inside and outside was kept more than about 14°C. Daytime heating load, almost of which was consumed within one hour after sunrise, was about 5% of the daily heating load, on the average.

(4) Daily average of the heating load, q_g [kcal/m²(floor area)/day], was considered to be estimated by using the following equations.

$$q_g = q_d + q_n \quad (1)$$

$$q_d = h_d \cdot DH_d / \beta - q_{solar} \quad (2)$$

$$q_n = h_n \cdot DH_n / \beta - q_{soil} \quad (3)$$

$$q_{solar} = \int_{t_1}^{t_2} q(t) dt \quad (4)$$

$$q(t) = \text{Min}(q_s \cdot \tau \cdot \alpha, h_d \cdot \Delta\theta / \beta) \quad (5)$$

where subscripts d and n denote, respectively, daytime and nighttime; h and DH being, respectively, overall heat transmission coefficient (kcal/m²/hr/°C) of the glasshouse walls and heating degree hour; $\Delta\theta$ and β being respectively, temperature difference between inside and outside at time t and wall area to floor area ratio; q_{solar} being a portion of the transmitted solar radiation which contributes to the reduction of daytime heating load (see also Fig. 4); q_{soil} being the nighttime soil heat flux at the floor surface. t_1 and t_2 denote, respectively, the times of sunrise and sunset.