中国式片屋根温室の日射透過特性 に関する模型実験

李 書民・蔵田憲次・高倉 直

(東京大学農学部)

Scale-model Experiments on Solar Radiation Transmissivity into a Chinese Style Lean-to Greenhouse

Shumin LI, Kenji KURATA and Tadashi TAKAKURA

(Faculty of Agriculture, University of Tokyo,
(Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan))

Abstract

Some experimental results of solar radiation transmissivity into a Chinese-style lean-to greenhouse were described. The greenhouse is east-west oriented and its north wall, north roof and east- and west-gable walls were made of opaque materials.

A scale-model greenhouse with the floor area of 20 cm (width) × 160 cm (length) was constructed and 16 solar cells (each detecting area is 11 mm × 17.5 mm) were set on the floor at its central part. Experimental observations were conducted from December 1992 to June 1993 in Tokyo (35° 41'N) at an interval of about 45 days on fine days as well as on overcast days. The results on fine days showed that in winter and spring daily transmissivity distributions on the floor were quite uniform except for some low radiation points due to shades of the purlines. In summer time, on the other hand, daily transmissivity at the north part of the greenhouse showed remarkably lower values compared to those of the rest part. Transmissivities during 9:00–15:00 were higher than those during the early or late hours of the day in every season. The results on an overcast day showed that diffuse radiation transmissivity on the floor was quite nonuniform because of the shade effect of the north wall and north roof to the diffuse radiation.

Key words: Diffuse radiation, Lean-to greenhouse, Scale-model greenhouse, Solar radiation, Transmissivity.

キーワード: 片屋根温室, 天空日射, 透過率, 日射, 模型温室

1. はじめに

温室内へ透過した日射量とその分布は温室設計や温室栽培で考慮しなければならない重要な因子である。それらは温室内の気温、湿度などの環境条件に影響を与えるとともに、直接作物の光合成とも深く関連しており、最終的には、温室栽培の経済性にも大きく影響すると考えられる。

いままでに、温室内の日射環境特性に関する研究は数多くあるが、ほとんどの研究は両屋根式温室（単棟あるいは連棟）についてのもので（例えば、古在, 1970, 1974;

古在・杉, 1972; 蔵田, 1983; Kurata, 1990; Critten, 1983 a, b), 中国で普及している“単屋面温室”（片屋根温室に相当する中国語）内における日射環境の解析は少ない。わずかに呉毅明ら（1992）及び孫忠富ら（1993）がこの型の温室内の直達日射透過特性に関する数値計算を行っているが、冬季に室内の異なる部位（床面、北側の側壁・屋根の内側）における直達日射の日積算量の分布を算出したに過ぎない。

“単屋面温室”は中国で園芸作物、特に野菜作物の栽培に広く応用されている温室の形態であり、近年、中国の華北、西北及び東北地方に数多く建てられている。この型の温室は全て東西単棟温室であり、Fig.1に示したように、北側の側壁と屋根（以後、それぞれ裏壁、裏屋

1994年6月8日 全国大会にて発表

1994年3月24日 受付, 1994年10月3日 受理

根と呼ぶ) および東西両妻は不透明の煉瓦、土、木材などで、南側の屋根(以後、採光屋根と呼ぶ)は透明なビニルフィルムである。夜間にはこの透明被覆材の上に厚さ2-3 cmのすだれなどをかける。したがって、この種類の温室は保温性が比較的良好、建築費も安く、冬季に晴天日の多い大陸性気候地域では、無暖房でも、トマト、キュウリなどの果菜類を栽培できる。このように、“単屋面温室”は省エネルギー的であり、また実用性が高いなどの特長がある。以後、本報告では、この中国語で

“単屋面温室”と呼ばれる温室を単に片屋根温室と呼ぶ。

片屋根温室の構造は、地区によって多少異なるが、一般的に、間口が6 m、棟高が2.5~3 m、裏壁の高さが1.6~2 mであり、南側の採光屋根がアーチ形の曲面か平面の組み合わせである。Fig.1 は後者の例である。普通、棟の位置(Fig.1 ではRで示した)より北側は通路として使われ、それより南側が栽培に使われる。

片屋根温室の構造上の特性は室内の微気候の特性と深く関係していると思われるが、この点に関する研究例はほとんどない。より一層効率的にこの種類の温室を利用し、生産性を向上させるためには、その日射透過特性の究明が一つの課題である。

これまでの両屋根式温室の日射透過特性に関する研究の大部分は理論モデルによる数値計算で、実測による解析例は少ない。例えば、温室やトンネル内での実測例では、Critten (1985); Cave and Cockshull (1989); Kurata *et al.* (1991) などの研究が挙げられ、模型温室内での実測例では黒住・川島 (1977) などの研究が挙げられる。また、スリークオーター温室内での実測例では岩崎・木村 (1975) の研究、スリークオーター温室に近い非対称性断面温室内での実測例では Whittle and Lawrence (1959) などの研究が挙げられる。

上述したように、温室内の日射透過特性を解明するための手法として、理論モデルによる数値解析、実際の温室内の観測と模型温室内の観測の3つが挙げられる。本研究で、対象にしている温室は日本には存在せず、実際の温室内で観測を行うことは不可能である。そこで、代表的構造の片屋根温室を対象として、模型実験と数値計算との2つの側面から、その日射透過特性を明らかにすることを目的とした。本報では模型実験による結果を報

Fig. 1. A schematic diagram of cross-section of the model lean-to greenhouse (1:30). N, R, S indicate the north edge, the ridge position and the south edge of the greenhouse, respectively. (unit: cm). Shaded rectangles and solid circles indicate solar cells and purlins, respectively.

告する。

2. 方 法

2.1 実験方法

想定した供試温室の構造とその模型(比率1:30)のサイズはTable 1に、横断面図はFig.1にそれぞれ示した。光センサーとしては、太陽電池(ほくさん、型番SS1-45B)を用いた。模型温室の床面の中央部に16個の太陽電池を取り付けた。これらの太陽電池の受光面と床面との間の距離は0.4 cm(実際の温室で、地上0.12mに相当)である。屋外の日射量は全天日射計(英弘精機産業、MS-4型)で観測した。太陽電池のサイズは約幅11mm×長さ17.5mmである。太陽電池および全天日射計の電圧出力はハイブリットレコーダ(横河電機、Model 3081)により記録した。太陽電池は模型温室内に取り付ける前に、晴天日条件下で、全天日射計の出力を基準としてキャリブレーションした。

模型温室の床面および不透明の裏屋根、裏壁と東西両妻壁の内側をツヤ消しペンキで黒く塗り、日射の反射の

Table 1 Structural parameters of the lean-to greenhouse.

	Actual	Model (1/30)
Ridge height	2.60m	8.7cm
Width	6.00m	20.0cm
Length	48.00m	160.0cm
Beams: diameter	0.06m	0.2cm
pitch	3.00m	10.0cm
Rafters: diameter	0.025m	0.082cm
pitch	1.00m	3.3cm
Purlins: diameter	0.06m	0.2cm
Orientation	E-W	E-W

Table 2 Date of measurement.

	Sunrise hour angle ^a	Solar altitude at culmination
Dec. 22, 1992	-28.6°	30.9°
Feb. 10, 1993	-17.3°	39.9°
Mar. 23, 1993	+1.7°	55.2°
Apr. 15, 1993	+12.5°	64.0°
May 13, 1993	+23.3°	73.1°
Jun. 5, 1993	+28.8°	76.9°

^a 0° for east, positive northwards.

影響を少なくした。被覆材には塩化ビニルフィルムを用い、各観測日の前に張り替え、フィルムの劣化の影響をなくした。実験は周りの障害物の少ない東京大学農学部4号館(北緯35°41′)の屋上で以下に述べる日に行った。晴天日の観測をTable 2に示した日に、曇天日の観測を1993年6月5日に行った。Table 2には各観測日の日の出の方角および南中高度も示した。

2.2 透過率の概念について

本報告では、混同を避けるため次のように各透過率を定義した。室内床面のある点、ある時刻の水平面日射量と室外水平面日射量の比を透過率とする。ただし、曇天日(1993年6月5日)の透過率は、晴天日のそれと区別するため天空日射透過率と呼ぶ。これは観測日の雲量が10で、室外水平面における日積算日射量も6.8 MJ/m²と低かったので、水平面日射量はほぼ100%天空日射から成り立っていると考えられたからである。また、栽培面透過率は室内栽培床面(床面の歩道以外の部分)における透過率の平均値を、日透過率は室内のある点の一日の日積算日射量と室外のそれとの比を、栽培面日透過率は室内栽培床面における日透過率の平均値を意味する。ここで、以上の各定義中の「ある点での日射量」とあるのは、実際には上記の太陽電池による観測値を用いた。したがって、本実験の観測結果は、温室中央部の断面でのものである。本模型温室(スパン:長さ=1:8)のように細長い温室では、太陽高度のごく低い時間帯を除いて、中央部の透過率で全体の透過率を代表できるものと考えられる。

3. 結果

3.1 晴天日観測結果

Fig. 2に栽培面日透過率の季節変化を示す。12月と2月には0.8前後の高い値を示し、季節の進行とともに低下し、5月には0.63となった。その主な理由は後で示すように、夏季に近づくにつれ太陽高度が高くなり、裏壁と裏屋根の遮蔽の影響が大きくなったからであると考えられる。

Fig. 2. Daily cultivation area transmissivities at different seasons on fine days.

Circles indicate the experiment dates.

Fig. 3. Diurnal courses of cultivation area transmissivity at different seasons on fine days.

* Values indicate the daily integrals of solar radiation averaged over the floor of the greenhouse.

Fig. 3に栽培面透過率の時間変化・季節変化を示した。時刻は中央標準時である。季節にかかわらず栽培面透過率は昼ごろには高く、早朝と夕方には低い。また、午前9:00ごろから午後15:00ごろまで栽培面透過率の変化は少ないことがわかった。正午前後の栽培面透過率は12月~4月で大体同じであるが、5月はそれよりも低下した。日の出と日没ごろの栽培面透過率は季節によって異なる値を示した。

Fig. 4に床面における日透過率分布の季節ごとの変動の様子を示した。冬、春季における日透過率分布は比較的均一であるが、4,5月では、不均一になった。特に、4,5月には裏壁の近くの点の日透過率が大きく低下するのが特徴的である。また、季節によって位置が異なるが、明らかに母屋の影の影響とみられる日透過率の低い場所があることがわかった。12月には裏壁から14 cmぐらい、2月には15 cmぐらいの位置にこれらの日透過率の低い点が見られる。また、12月と2月には、床面の一

Fig. 4. Daily transmissivity distributions on the floor of the greenhouse at different seasons on fine days.

番南側における約 5 cm の範囲は高い日透過率となっている。これは一番南側の屋根の傾斜角が大きく、太陽光線の被覆材への入射角が小さいからであると思われる。全体的には、冬季から夏季にかけて、床面上各観測点における日透過率がだんだん低くなっていくことがわかった。

Fig. 5 は床面における各時刻の透過率を示した。午後の透過率は大体午前と対称であった。季節にかかわらず昼頃の透過率が一番高く、朝早くになるとともに透過率が低くなった。母屋の影響とみられる透過率の低い点は太陽高度の低い早朝には見られず、昼に近づくにつれて現れた。このように透過率の低くなる個所に 12 月以外は 2 つある。これは模型温室の南屋根の 2 本の母屋に対応している (Fig. 1)。12 月には裏壁に近い母屋の影は裏壁内側に投影された。また、4 月と 5 月になると、床面北側の歩道の範囲では、一日のほとんどの時間帯で低い透過率を示した。これは不透明な裏壁と裏屋根の影響である。なお、Fig. 5 には、はりやたるきの影が太陽電池に投影されたことに起因する変動も含まれている点に注意する必要がある (他の図では、この変動は空間的あるいは時間的に平均化されている)。たとえば、北側から 5 cm 近辺の 12 時の透過率は 12 月のほうが 5 月よりわずかながら大きい。しかし、直達日射の被覆材への入射角から計算される透過率はほぼ等しいはずである。これは、5 月 13 日 12 時には、ほぼ北半分の太陽電池にはりの影がかかっていたためである (ここでいう時刻は日本標準時であり、真太陽時ではない)。

3.2 曇天日観測結果

天空日射透過率の分布を Fig. 6 を示した。北の端から南の端に向けて天空日射透過率が大きくなる傾向があるが、最高値は南の端から約 5 cm の所にあった。栽培面での平均天空日射透過率は 0.68 と低く、不透明の裏壁と

Fig. 5. Hourly variations of transmissivity on the floor of the greenhouse at different seasons on fine days.

Fig. 6. Distribution of diffuse radiation transmissivity on the floor of the greenhouse (June 5, 1993).

裏屋根の天空日射透過率への影響が大きいことを示唆している。

4. 考 察

以上の実測結果から明らかになった片屋根温室の日射透過特性は東京地区の他、同じ緯度を持つ中国の華北、華中の隣接地区にも参考となるとと思われる。次に、これらの結果をこれまでに発表された東京やその周辺地区に

関する東西単棟両屋根温室の日射透過特性の解析結果と比べてみよう。

古在(1974)の数値解析結果と黒住ら(1977)の模型実験結果は、いずれも南北棟温室と比較した場合、東西棟温室の有利性は冬季だけに限られ、春分になると、北屋根への日射の入射角が大きくなり、床面の北側に弱光帯を生じて、一日中床面における日射透過率の分布がかなり不均一になることを報告している。さらに、黒住ら(1977)の結果によると、屋根勾配 30° では床面北側1/5ほどの面積が弱光帯となり、他の部分より日透過率は約40%少なく、屋根勾配 15° では弱光帯の幅が北側1/3と広がり、日透過率の減少は約15%となっている。本実験では、冬季・晴天日条件下での結果は古在と黒住らのそれと似ていて、床面における日透過率分布は比較的均一であった。しかし、3月23日の結果は日透過率の最高、最低値の差が約13%であり、黒住らの結果ほど大きくなかった。黒住らは直達日射だけを対象にし、本実験では全日射を対象にしていることも関係しているが、この違いの大きな原因は温室の構造の違いにあると推論できる。すなわち、片屋根温室では床面全体の南側から5/6の真上は全部南向の透明屋根であり、両屋根温室の弱光帯の原因となった北屋根の部分が少ないことが関係していると考えられる。この様に、晴天日条件下で、片屋根温室は冬、春季とも床面における日透過率分布が比較的均一である。一方、片屋根温室内天空日射透過率の分布(Fig. 6)をKurata(1990)の両屋根単棟温室の解析結果と比較すると北側部分における低下が激しく、不均一性が増大していることが明らかとなった。

母屋の影の影響は黒住ら(1977)の模型実験結果や古在(1974)の計算結果と同じく、明らかに低透過率の個所を生じた。ただし、本実験の結果では、古在の結果ほど母屋の影の部分の日透過率の低下は見られなかった。これは本実験は直達日射と天空日射が併存する場合の解析であるのに対して、古在のは直達日射条件だけを対象としたものであるからと考えられる。なお、本実験の各季節における時刻別の栽培面透過率変化の結果は古在や黒住らの結果と似て、朝夕には低く、正午前後には高い値を示した。

5. 結 論

模型温室を用いた東京での観測から、中国式片屋根温室の日射透過特性を明らかにした。その結果、片屋根温室では冬季だけではなく春季にも栽培面床面の透過率の均一性が高いこと、夏季には、ちょうど北側の通路の部分の透過率が低下すること、天空日射の透過率は北側は

ど低くなり、不均一性が著しいことなどの特徴が明らかとなった。

引用文献

- Cave, C. R. J. and Cockshull, K. E., 1989: The effect of using a venetian reflector assembly to improve winter light levels in a single-span glasshouse on the growth of a pot chrysanthemum crop. *Solar Energy*, **42** (4), 319–325.
- Critten, D. L., 1983a: A computer model to calculate the daily light integral and transmissivity of a greenhouse. *J. Agric. Engng. Res.*, **28**, 61–67.
- Critten, D. L., 1983b: The evaluation of a computer model to calculate the daily light integral and transmissivity of a greenhouse. *J. Agric. Engng. Res.*, **28**, 545–563.
- Critten, D. L., 1985: The use of reflectors in venetian blinds to enhance irradiance in greenhouses. *Solar Energy*, **34** (1), 83–92.
- 岩崎正男・木村 進, 1975: 施設園芸の微気象環境管理に関する研究. 第1報. メロン栽培温室の微気象的特性. 静岡農試研報, **20**, 33–40.
- 古在豊樹, 1970: 温室内の日射量に関する研究(1). 農業気象, **26** (3), 123–130.
- 古在豊樹・杉 二郎, 1972: 温室内の日射量に関する研究(2). 農業気象, **27** (3), 105–135.
- 古在豊樹, 1974: 温室の光透過に関する数値実験(2). 農業気象, **29** (4), 239–247.
- 蔵田憲次, 1983: 温室の光環境改善のための研究. (1) フレネルプリズムの温室被覆への応用. 農業気象, **39** (2), 103–106.
- Kurata, K., 1990: Role of reflection in light transmissivity of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, **52**, 319–331.
- Kurata, K., Quan, Z. and Nunomura, O., 1991: Optimal shapes of parallel east-west oriented single-span tunnels with respect to direct light transmissivity. *J. Agric. Engng. Res.*, **48**, 89–100.
- 黒住 徹・川島信彦, 1977: 温室の光線透過に関する模型実験(第1報): 棟方位と屋根形状について. 奈良県農業試験場研究報告, 第8号, 9–18.
- 孫 忠富・呉 毅民・曹 永華・李 佑祥, 1993: 日光温室中直射光の計算機模倣方法. 一施設農業環境模倣分析研究之三. 農業工程学報, **9** (1), 2–7.
- Whittle, R. M. and Lawrence W. J. C., 1959: The climatology of glasshouses. I. Natural illumination. *J. Agric. Engng. Res.*, **4**, 326–340.
- 呉 毅明・曹 永華・孫 忠富・李 佑祥, 1992: 温室采光設計の理論分析方法. 一施設農業環境模倣分析研究之一. 農業工程学報, **8** (3), 73–80.