ビニールハウスと栽培畑における気温・地温水平分布の特性

鈴木 晴雄・坂 爪 義 弘*・ジーザス ルイツ アスプリア・藤 目 幸 擴

香川大学農学部・* 現在, 全国農業協同組合連合会飼料畜産中央研究所

Horizontal Distributions of Air and Soil Temperatures in Plastic House and at Upland Field

Haruo SUZUKI, Yoshihiro SAKAZUME, Jesus Ruiz ASPURIA
and Yukihiro FUJIME

Faculty of Agriculture, Kagawa University, Kida, Kagawa 761-07, Japan

Deviation in the horizontal distribution of air and soil temperature beneath film mulch was studied in relation to meteorological conditions in a greenhouse and upland field. The following results were obtained. (1) From measurements of solar radiation of 10 points in the greenhouse with east-west direction, standard deviation of 10 sky solar radiations was 122% that of direct solar radiation. Changes in air temperature at 150 cm height as measured at the same position that of the solar radiation increased considerably with approach to gable side equipped with a ventilation fan. For relative humidity at 150 cm, no characteristic tendency was observed. (2) For the greenhouse and upland field, large differences were found between standard deviation in 10 soil temperatures at 10 cm depth in daytime and that of nighttime. Diurnal range of the deviation in the greenhouse was about twice that of upland field. (3) Standard deviation in 10 air temperatures and 10 soil temperatures in a horizontal direction in broad bean field and soybean field was investigated by multiple regression analysis using predictor variables of 5 principal meteorological factors and LAI. The deviation of air and soil temperatures was significantly influenced by solar radiation in the broad bean field, and by solar radiation and LAI in the soybean field. (4) Amount of heat load in the greenhouse and daily variation in heat transfer in the soybean canopy were calculated in relation to deviation in air temperatures in a horizontal direction.

(Received January 7, 1992)

1992年1月7日受付

緒 言

ハウス、畑地などの耕地における栽培作物の微気象環境の良否は生育へ直接影響を及ぼすので、微気象要因の実態調査とその調節・制御はきわめて重要となる。

ハウス内では通常、温度ムラ(温度のバラツキ)があって^{1,2)}、それがハウス栽培作物の生育不揃いの一原因でもある。また最近、果樹のハウス栽培が盛んであり、ハウス内の気温・地温の高低とそのバランスの重要性を指摘した報告がある^{3,4)}。柑橘のハウス栽培の一部では高温と相まって、温度のバラツキは奇形果を誘発するともいわれている⁵⁾。他方、ハウスの施設面積は増加する

一途で、大型化と周年利用化に伴い暖房装置が付帯されることから、温度のバラツキは燃料消費の効率性においても無視できない課題である。

畑地では従来より熱収支、蒸発散などの多くの基礎研究がなされてきた。しかし、それらの基礎的要因である温度はたいていの場合は数点での測定値が代表値とされている。そこで、代表値の精度については十分検討しなければ、温度要因に基づいた個々の解析結果にも大きく影響を及ぼすことになる。この温度の水平方向のバラツキについては栽培面からは、水田における気温の水平分布を水稻生育の周縁効果から論じた報告があり⁶⁾、また筆者のうちの鈴木は、フィルムマルチによる地温効果を比較するには同一深さの地温水平分布を考慮する必要性

を提案しており⁷⁾, 耕地における温度分布の解明は重要である。

しかし, 温度分布に関連する従来の報告については横木ら²⁾, 平井ら⁶⁾のように温度分布そのものを主題にした例は少なく, これまでの報告はいずれも温度の水平分布を側面的に取り扱っており, ある代表時刻における温度分布の事例として示している。気温と地温の温度水平分布は各気象条件によって異なり, さらに栽培現場では生育につれて分布の異なることなどが十分推測されるが, それらとの関連性はいまのところ明らかにはされていない。

そこで本研究では, 気温と地温の水平方向の特性をハウスと畑地において, 気象要因ならびに作物生育との関連から実験的に明らかにすることを目的とした。

実験方法

1. 実験区の設置

実験は 1988 年 12 月より 1989 年 7 月の期間, 香川大学農学部内の実験圃場に設置したハウスと畑地とで行った。

ハウス実験: ハウス(E-W 方向)内とハウス南側に隣接した露地に, 畦(畦長 15 m, 畦幅 1.5 m, 畦高 15 cm)を東西方向にたてた。ハウスは奥行 16.6 m, 間口 5.4 m, 高さ 2.6 m であり, ハウスの被覆資材として PVC 透明フィルム(0.075 mm 厚)を被せた。また, ハウスの妻面には換気扇(ナショナル FV-40DEY)を取り付け, それと接続しているサーモスタットは常時 25°C に設定した。

なお, ハウス周辺の状況については, ハウス東側と南側はとくに日射を遮るものはないが, ハウス西側妻面より約 5 m の距離に南北方向 3~5 m の長さで樹木(約 3 m 高)が数本ある。ハウス北側 3 m 以北も樹木がある。

露地栽培実験: 実験区としてソラマメ(供試品種: 讃岐長莢, 1988 年 11 月 9 日播種)とダイズ(供試品種: 白鳥, 1989 年 5 月 1 日播種)を栽培した 2 区と, 対照区として裸地の畦を設けた。両作物とも株間 30 cm, 条間 40 cm の栽植距離で栽培した。

2. 測定方法

ハウス実験: 実験期間中は主として日射量, 気温, 湿度, 地温, 土壌水分の計 5 要因について測定した。日射量の測定には農試電試型日射計(中野製作所)を用い, ハウス内東西方向畦の畦面上 10 カ所(Table 1 の注参照)にて全天日射量を測定した。また全天日射量の測定直後に黒塗の厚紙(直径 5 cm)にて直達日射を遮蔽して散乱日射を求め, 全天日射量と散乱日射量との差から直

達日射量を得た。

気温と湿度の測定には熱電対(T, ϕ 0.65 mm, 0.75 級)による試作の通風式乾湿球湿度計を用いて行った。同センサーは硬質塩化ビニール樹脂製パイプ(外径 50 mm, 2.0 mm 厚)の中央部にあり, パイプの外側はアルミ фоль (0.01 mm 厚)にて被覆した。通風速度は約 $2.5 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ である。気温, 湿度の各測定地点はハウスと露地ともに 1.5 m 高, 1.85 m 間隔の計 10 カ所である。地温についても熱電対を用いて同じ間隔で測定したが, 測定深は 10 cm である。これら気温, 湿度, 地温はロガー(横河電機, mini YODAC)にて期間中 1 時間間隔で記録した。土壌水分はテンシオメータと乾熱法によった。

露地栽培実験: 気温, 地温, 土壌水分の 3 要因について測定した。計 3 区の気温測定は, アルミ фоль で被覆したアルミ製シェルター(15 cm $\times$ 15 cm, 0.45 mm 厚)の上下 2 枚の間(間隔 35 mm)に熱電対を取り付けて気温センサーとし, それらを畦面上 30 cm の高さで 90 cm 間隔に計 10 点設置した。地温は 10 cm の測定深である。これらの気温と地温は連日 15 時に測定した。土壌水分の測定はハウスの場合と同様にした。各栽培区での生育調査は草高, 地被率⁹⁾, LAI について行った。

なお, 気温測定に用いた通風筒, 放射除けはその大きさ, 形状, 通風の有無等によって気温測定に誤差が生じる。測定誤差に関して荒井⁹⁾は放射除けによる影響を理論的に論じ, 細野ら¹⁰⁾は実験的に明らかにしている。誤差を最小にするために, よく通風式の温度計が用いられているが, 本実験の場合, 通風式の測器を用いると, 植被内等の狭い空間では逆に測定対象の自然温度状態を変えることになる。そこで, ハウス内 10 点気温とその対照区 10 点気温については空間が比較的広いことから, 通風式の温度計を用いて両区の比較を行った。露地栽培実験では植被内の気温測定であることから, 無通風の気温センサーを用いて栽培区と対照区との比較を行った。

また, 気温と地温測定に用いた熱電対には特有の誤差¹¹⁾があるが, 地温の場合は伝導率が大きいのので, 気温測定の場合にくらべると高い測定精度が得られたものと考える⁹⁾。

結果および考察

1. ハウスの温度水平分布

本実験期間中の気象状況についてみると, 日射量は平年より若干下回り, とくに 2 月と 5 月は平年の 80% であったが降水量は平年並み, 気温は 1~3°C 高く, 全般的に比較的温暖であった。よって気象状況は特異なもの

Fig. 1 Horizontal distributions of 10 air temperatures at 150 cm height, 10 relative humidities at 150 cm height, and 10 solar radiations at row surface in plastic house of E-W direction on March 30 at 2: 00 p.m. in 1989.

Open circles denote the air temperature, dotted circles the relative humidity, open bars the direct solar radiation and dotted bars the sky solar radiation. Positions were set at equal intervals of 185 cm. Position P_1 and P_{10} were at western and at eastern gable of the house, respectively.

ではなかった。

1-1. 日 射 量

供試ハウス床面での日射量水平分布について晴天日 (1989年3月30日14時~14時30分, 雲量2.5) における例を, 1.5 m 高の気温と湿度とともに Fig. 1 に示す。

Fig. 1 によると, 全天日射量 (図中の白色棒と黒色棒の和) は全般的にハウス中央部付近にくらべて妻面付近に変化がみられている。すなわち, 西側の P_1 は $P_1 \sim P_{10}$ までの10点平均値より28%少ないが, P_{10} では18%ほど多く, P_9 では6%少ない傾向である。直達日射量 (白色棒) は全天日射量の場合とほぼ同じ傾向である。散乱日射量 (黒色棒) になると, 直達日射量にくらべて測定地点ごとの変化が大きく出現しており, とくに妻面 P_{10} での値は P_1 の2倍近くの値となっている。散乱日射量10点の標準偏差は直達日射量の21%増になる。

気温と相対湿度についても明確な水平分布がみられており, 気温 (図中の○) では東妻面の P_{10} から西妻面の P_1 へ移動するにつれて約 4°C も昇温し, 日射量の分布とは異なった傾向である。これは西妻面に設置した換気扇による吸引の影響が大きくており, 同様な換気によ

Fig. 2 Diurnal variations of mean air temperatures for 10 points and their standard deviations on February 2 in 1989.

る昇温の例は三原¹²⁾によっても報告されている。相対湿度 (図中の●) については気温の場合と若干異なり, P_9 で最大の76%を示したのち, P_4 の最小65.5%まで下降するが, その後 P_1 へ向かってふたたび上昇し, 複雑な様相を呈した。

以上のように晴天日の傾向が得られたが, 曇天日の測定によると日射量および直達・散乱の両成分, および気温・湿度とも, 測定地点別の差異はほとんどみられなかった。

1-2. 気温・地温水平分布の日変化

気温: ハウスと露地における気温水平分布は, Fig. 2 に示したように昼夜によって特徴がみられた。まず, 両実験区の10点平均気温の日変化 (Fig. 2 の下部) について, 夜間 (0時~6時と18時~22時) では区間差は大きくないが, ハウス<露地である被覆逆転¹³⁾が一部 (1時と22時) にみられている。昼間では差が広がって12時にはハウス-露地間で 10°C もの温度差がある。

それに対し, Fig. 2 上部に示した10点気温のバラツキ (標準偏差) は同10点平均気温の場合ほどでもないが, ハウスでは夜間にくらべて日中のバラツキは大きく, 12時には 1.0°C にも達している。

このハウスにおいてバラツキの大きくなる理由は, 上記のようにハウス内の気温そのものが露地よりも高いことから, 個々の10点気温の差も大きく生じたことと, 他にはハウス内隙間風による気温の不均一によるものが

大きいと考えられる。なお、測定当日の昼間は最高 $5.7 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ (10 分間平均, 6 m 高) もの風速を記録している。

地温: 地温バラツキの日変化は、Fig. 3 に示したような変化になった。ハウスと露地ともにほぼ 0 時より 6 時までの時間帯では、10 点平均地温の変化に対して 10 点地温のバラツキは比較的一定している。すなわち、ハウスでのバラツキは $0.5\sim 0.6^\circ\text{C}$ であり、露地では約 0.4°C である。しかし、7 時から昼間を経過して 0 時までは特異な様相を呈し、一種の円弧状の変化である。つまり、ハウスと露地ともに昼間の 10 点平均地温の変化に対するバラツキと、昼間と同じ温度に相当する夜間の 10 点平均地温に対するバラツキとは明確な差があって、しかもその差は経過時間に伴って異なった変化を示している。

この昼夜の同じ 10 点温度に対するバラツキが異なる原因については、土壤中の水分量およびその移動の日変化にあるものと考えられる。土壤中の水分は一般に周期的に変化し、日中に低く夜間に高い傾向にある¹⁴⁾。したがって、同じ 10 点温度に対するバラツキは、水分量の

多く土壌の熱容量が大きい夜間のほうが、熱容量の小さい昼間よりも小さくなるものと考えられる¹⁷⁾。

これら 10 点平均地温に対するバラツキの値にはハウスと露地とでは差がある。露地では 10 点平均地温が $5.9\sim 15.7^\circ\text{C}$ までの変化に対し、ハウスでは $14.2\sim 26.9^\circ\text{C}$ であり、バラツキは露地では $0.2\sim 0.8^\circ\text{C}$ 、ハウスでは $0.3\sim 1.7^\circ\text{C}$ となってハウスは露地の 2 倍程度となっている。

1-3. 気温・地温水平分布の季節変化

気温の季節変化を最高温度と最低温度で示したのが Fig. 4 である。Fig. 4 (下部) によると、10 点平均気温は寒候期の 12 月より暖候期の 4 月になるほどハウスと露地とも上昇している。最高気温と最低気温はともにハウス > 露地の関係である。とくに最高気温における区間差は大きく、期間中、 $4.0\sim 19.4^\circ\text{C}$ ほどハウスは露地より高温であった。気温バラツキ (Fig. 4 の上部) の傾向についても 10 点平均気温の場合と同じであるが、ハウスでの最高気温のバラツキはとくに顕著であった。

なお、地温の場合も気温の場合と近似した変化傾向であった。

これら連日の温度水平分布に影響を及ぼす要因は多いと考えられるが、水平分布を露地測定による日平均気温、降水量、日射量、風速の主要気象要因と土壌水分 (地温の場合) との関係から重回帰分析¹⁵⁾によってみた (Table 1)。なお、表中の各数値は重回帰分析 (変数増減法) によって選択された標準偏回帰係数であり、各係数は変数間の相対的重要性を示している。

Table 1 によると全般的に気温と地温の各 10 点測定値のバラツキについては、回帰係数はともに露地よりもハウスのほうが大きく、このことはハウスでは露地以上に気象要因の変化によってバラツキが生じやすいことになる。

次に気温の水平分布についてハウスでは、最高気温と最低気温ともに日平均気温、降水量、日射量の 3 要因によって気温のバラツキは大きく影響を受けており、とくに選択された 3 要因のなかでは日平均気温による影響が大きい。

他方、露地の最高気温でも日射量の変数による影響は大きく、最低気温では降水量のみの影響である。

地温の水平分布について、ハウスの最高地温では平均気温と日射量が選択されているが、これは最高気温の場合と同じである。さらに風速が選択されているが、これはハウス内では無降雨であり土壌水分の変化が極端に少なかったため、相対的に変化の大きい風速が説明変数として選択されたものと考えられる。

Fig. 3 Relations between mean soil temperatures for 10 points and their standard deviations on March 29 in 1989.

Fig. 4 Seasonal variations of mean air temperatures for 10 positions at 150 cm height and their standard deviations at the house and the open field.

Table 1 Standard partial regression coefficients in the multiple regression between the standard deviations of air temperatures for 10 positions at 150 cm height and meteorological factors, and the coefficients between the deviations of 10 soil temperatures at 10 cm depth and meteorological factors from December 10 in 1988 to March 14 in 1989.

Standard deviation			Meteorological factor*					Multiple regression coefficient**
			Te	Pr	Ia	Ue	Mo	
Air temp.	House	Max.	0.749	0.262	-0.241		—	0.891
		Min.	0.709	0.246	-0.299		—	0.903
	Field	Max.			0.576		—	0.304
		Min.		-0.293			—	0.048
Soil temp.	House	Max.	0.148		0.811	-0.168		0.826
		Min.	-0.429		0.898			0.564
	Field	Max.	-0.252	0.352	0.933			0.651
		Min.						—

* Notations: Te, daily mean air temp.; Pr, amount of precipitation; Ia, amount of insolation; Ue, daily mean wind velocity; Mo, soil moisture content.

** Adjusted for the degree of freedom.

露地の最高地温は平均気温、降水量、日射量が選択され、ハウスの場合と同様に日射量による影響が大きい。次に最低地温についてみると、ハウスでは平均気温と日射量が選択され、日射量の回帰係数が0.898と大きかった。これは早朝に出現する最低地温の降下の大きいときは当日の日射量が増大することによる⁹⁾。露地の最低地温ではこれらの4変数とは関係が得られていない。

以上の結果ではいずれも地温への影響の大きい土壌水分は選択されていないが、説明変数である気象要因をさらに広げた露地での例⁷⁾では明確に選択されている。

このように、気温・地温水平分布についてはハウスのほうが露地以上に気象要因による影響が大きく、とくにハウスでは気温と地温ともに日射量が共通した変数となった。なお、この重回帰分析の結果においては、温度バ

ラツキ (目的変数) に対する各気象要素 (説明変数) の作用機構が異なること, および各変数相互が影響を及ぼしあうのに要する時間の相違等の問題が残されている。

2. 栽培畑の温度水平分布

2-1. 植被と気温

ダイズ畑での測定では, 植被区と対照区としての裸地である無植被区の 10 点平均気温の差はきわめて明確である (Fig. 5 の下部). 10 点平均気温は生育前半の 5 月第 5 半旬まではわずかに植被区<無植被区の関係であるが (最大の気温差は 1.1°C), 生育後半の 6 月第 2 半旬ごろより植被区>無植被区となって (最大の気温差は 1.2°C), 生育に伴う植被の気温への影響の違いがみられている. これは生育のはじめごろは植被面上と無植被区の気温を測定しているが, 6 月のはじめごろには植被面が気温測定高度 30 cm に近づき 7 月第 2 半旬以降は 30 cm をこえたため, 植被内の気温を測定するようになったためであろう。

気温のバラツキ (Fig. 5 の上部) についてはほぼ全期間中, 植被区>無植被区の関係であり, さらに差は 6 月第 3 半旬より 7 月第 2 半旬にかけて大きく, 最大約 0.5°C (S.D.) にも達している。

気温のバラツキに関連して早川・鈴木¹⁶⁾は, 傾斜地の茶園で気温分布を赤外熱画像によってとらえており, 水平方向多点温度測定値の最高値~最低値間の差が $0.6\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ あることを得ている。

これらダイズ畑での結果に対してソラマメ畑では, 植被区と無植被区の気温ならびにバラツキの区間差は期間中明確ではなかった。

ソラマメとダイズの両植被による一連の傾向の違いは明らかでないが, ソラマメでは寒候期栽培のために暖候期のダイズほど植被内外の気温差が顕著でなかったことなどの, 栽培季節に起因することが大きいものと考えている。

2-2. 植被と地温

ソラマメ畑での地温変化を生育期間を通じてみると (Fig. 6 の下部), 10 点平均地温は 1 月第 1 半旬より 3 月第 2 半旬までは若干, 植被区のほうが無植被区よりも地温が高い (最大 1.2°C)。しかし, 3 月第 3 半旬以降は関係が逆転し, 植被の遮蔽による明確な地温低下が目立った。地温のバラツキ (Fig. 6 上部) については, 1 月第 1 半旬より 3 月第 2 半旬まで一定した区間差は認められていないが (最大 0.3°C), 途中, 4 月第 1 半旬までは植被区>無植被区となり, その後は植被区<無植被区の関係で経過した (最大約 0.6°C)。

これらの変化を, 植被生育を表す指標の一つである地

Fig. 5 Seasonal variations of mean air temperatures for 10 positions at 30 cm height and their standard deviations at the cultured plot with soybean and at the bare plot in 1989.

被率⁸⁾との関連でみる。地被率が約 0.2 までの 1 月第 1 半旬より 3 月第 2 半旬までは前述したように地温差は小さいが, それ以降の 6 月第 2 半旬の 1.0 までは植被区の地温低下となる。他方, バラツキは地被率 0.2 までは差がないが, それ以降の 0.7 では植被区>無植被区となり, 比が 1.0 近くなると植被<裸地となり, 地被率とバラツキとの関連性は一定していない。

これらソラマメ畑での変化に対し, ダイズ畑では期間中 (1989 年 5 月~7 月), 10 点平均地温は植被区<無植被区の関係が一定してみられ, バラツキのほうは地被率が 0.05 (6 月第 1 半旬) まで区間差はないが, それ以降は植被>裸地となり, しかも, 生育に伴ってバラツキは上昇の経過をたどった。

2-3. 温度水平分布と各気象要因

ソラマメ植被とダイズ植被による気温・地温のバラツキを, 前述 (1.) の場合と同様にして各気象要因と LAI を説明変数とした重回帰分析を行った (Table 2)。

Table 2 によると, 生育期間は異なるがソラマメ畑, ダイズ畑の気温・地温のバラツキともに, 日射量による影響が共通してみられる。気温についてはソラマメ畑の植被区と無植被区とも日射量の 1 変数が選択され, 日射量によるバラツキへの影響は両者ともほぼ同じ程度となっている。ダイズでは, 植被の生育による影響がかなり大きくており, LAI の回帰係数は 0.978 を示している。しかも, その値は他の要因の 2 倍以上に相当している。つまり, ダイズ植被内水平方向の気温バラツキは, 選択された他の 3 変数との関連において, LAI が大きくなるほど気温バラツキも大きくなる傾向といえる。

Fig. 6 Seasonal variations of mean soil temperatures for 10 positions at 10 cm depth and their standard deviations at the cultivated plot with broad bean and at the bare plot in 1989.

Ratio: Shadow area of plant canopy/row area.

Table 2 Standard partial regression coefficients in the multiple regression between standard deviations of air and soil temperatures for 10 positions, meteorological factors and LAI at upland field.

Standard deviation	Meteorological factor* ¹					LAI	Multiple regression coefficient* ²
	Te	Pr	Ia	Ue	Mo		
Broad bean							
Air temp.* ³			0.624				0.379
Air temp.* ⁴			0.604			—	0.353
Soil temp.* ³			0.619		−0.331	−0.679	0.546
Soil temp.* ⁴			0.889	−0.200		—	0.866
Soybean							
Air temp.* ³	−0.498	−0.217	0.302			0.978	0.562
Air temp.* ⁴	0.262		0.445			—	0.288
Soil temp.* ³			0.622		−0.104	0.600	0.857
Soil temp.* ⁴			0.943		0.113	—	0.879

Air temperatures were at 30 cm height, soil temperatures at 10 cm depth. The duration for calculation was from January 4 to June 9, 1989 at the broad bean field, and from May 1 to July 25, 1989 at the soybean field.

*¹ Meteorological factors are the same as in Table 1. *² Adjusted for the degree of freedom. *³ Cultivated field. *⁴ Uncultivated field (bare).

次に、地温バラツキについてみると、ソラマメ畑では LAI による影響が大きい、係数が負 (−0.679) であることから選択された LAI 以外の 2 変数との関連から、LAI が大きくなるほど地温バラツキは小さくなることになる。しかし、ダイズ畑になると LAI (0.978) が大きくなるほど反対に地温バラツキは大きくなる。

なお、Fig. 7 にダイズ植被の生育 (LAI) からみた温度水平分布の変化を示した。ダイズ植被では、気温と地温ともに LAI の増加に伴ってバラツキが増大する明確な傾向がある。他方のソラマメ植被の場合は、いずれも関連性が得られていない。

このようにソラマメとダイズ間の差異については、両

Fig. 7 Relations between deviations of air and soil temperatures for 10 positions and LAI at the soybean field from May 1 to July 25 in 1989.

(a) Deviations of air temperatures at 30 cm height. (b) Deviations of soil temperatures at 10 cm depth.

実験期間の気象条件の違いに基づいていることと、植被群落の構造と地下部の根系分布の特性がそれぞれ気温と地温へも影響を及ぼしたことにありと考えられる。影響の機構説明は今後の課題である。

3. 温度の水平分布と暖房負荷熱量・植被内熱移動量

各温度水平分布の特性を明らかにしてきたが、ここでは気温水平分布に関する具体的例をハウスと露地とでとりあげた。

3-1. 期間暖房負荷熱量

ハウスはもともと露地にくらべて気温のバラツキ（分布）が大きいにもかかわらず（Fig. 2, Fig. 4）、暖房の温度制御に用いる気温センサーはハウスの1カ所に設置した1点測定気温によることが多いので、1点測定温度の代表性によってハウス全体の負荷熱量が異なる。そこで、室内の気温水平方向のバラツキがきわめて小さい場合を仮定して設定気温を期間中一定（15°C）とした場合と、室内10点気温測定値個々のバラツキ（ $\pm \delta$ ）を想定し、便宜上、設定気温のほうを $15^\circ\text{C} \pm \delta$ と設定した場合とで、期間暖房負荷熱量の差異を次式を基にして試算した¹⁷⁾。

$$\sum Q_w \cdot \Delta\tau = k \cdot A_w \cdot \sum (T_i - T_o) \cdot \Delta\tau + A_f \cdot \sum B_o \cdot \Delta\tau \quad (1)$$

ここで、 Q_w : 暖房必要熱量 (kcal/hr), $\Delta\tau$: 積算の時間単位 (hr), k : 放熱係数 (kcal/m²·hr·°C), A_w : ハウス壁面積, T_i : ハウス内気温 (°C), T_o : ハウス外気温 (°C), A_f : ハウス床面積, B_o : ハウス床面単位面積当りの地表伝熱量 (kcal/m²·hr)。

なお、前提条件は次のとおりである。すなわち、対象とする地域と期間: 香川県における11月～翌4月までの6カ月間、気温: 当地の平年値(最高・最低気温)、温室の種類・規模: 一重ビニールハウス・床面積 500 m²・壁面積 850 m²、放熱係数: 5.8, などである。 δ は各月とも同値 (0.5°C と 1.0°C) とした。

結果は、気温水平方向のバラツキのない場合の期間暖房負荷熱量は 120.6×10^6 kcal, $\delta = 0.5^\circ\text{C}$ のバラツキのある場合は $120.6 \times 10^6 (\pm 6.5 \times 10^6)$ kcal, 同 $\delta = 1.0^\circ\text{C}$ の場合は $120.6 \times 10^6 (\pm 12.9 \times 10^6)$ kcal となって、バラツキのない場合のそれぞれ 5.4%, 10.7% の熱量変化であった。実際のハウス内気温分布は数度以上であることから、ハウス暖房の省エネルギー化において気温バラツキの取扱いは重要である。

3-2. 植被内熱量

畑地での例として、ダイズ植被内気温のバラツキが植被内熱量の評価に及ぼす影響をみた。植被内熱量の計算は、群落上層部における熱の移動量と、地表面における熱の移動量の差を求めることによる黒岩・門司の方法¹⁸⁾によった。

すなわち、群落内に入る熱を正に、出る熱を負にとると、葉面における熱の移動は次式で示される。

$$Q \Delta t = 1/10 \cdot K C_p [\theta + I \sin(\omega t + \phi)] \Delta t \quad (2)$$

ここで、 Q : 熱量 (cal·cm⁻²), K : 熱拡散係数 (c.g.s.), C_p : 空気の高圧比熱 (cal·g⁻¹), σ : 空気密度 (g·m⁻³), θ : 温度 (°C), I : 振幅 (°C), ω : $2\pi/\tau$ ($\tau = 86,400$ sec), t : 時間 (hr), ϕ : 位相 (°) である。

(2)式と同様にして地表面について求めた熱の移動を示す正弦曲線と(2)式とを合成し、群落による熱移動量を求めた。試算のための諸条件として、ダイズの栽植は条間 30 cm (2条植), 株間 20 cm である。また、試算時(7月7日)の同群落の平均草高は 70 cm であった。気温の測定高度として群落の上層は 65 cm と 55 cm, 下層は 10 cm と地表面をとった。計算は各高度の10点平均値をとった場合と、バラツキ(畦方向)のある場合とで行った。なお、実際には気温のバラツキは測定高度ごとに異なると推定されるが、ここでは各高度ともバラツキを $\pm 0.5^\circ\text{C}$ とした。

結果によると、同一測定高度であっても測定箇所ごとによって葉層面と地表面付近の温度勾配は変わり、両温度勾配を基とした熱量日変化(日較差)の最小値 $4.7 \text{ cal} \cdot \text{day}^{-1}$ が、最大値 $10.7 \text{ cal} \cdot \text{day}^{-1}$ が得られた。最大値は最小値の2.3倍にも及んだ。植被内気温のバラツキにより、植被内熱量の評価が大きく異なることになった。

以上、ハウスと畑地において、おもに温度水平方向の分布についてみた。気温と地温は気象条件、ならびに植被の状態によってそれぞれ特徴のあるバラツキを示し、温度を基礎要因とする環境制御、解析結果にも基本的な影響のあることなどが明らかになった。今後はこうしたバラツキ量の把握にさいし、測定方法や作物側の生理状態からも検討する必要があるものと考えられた。

摘 要

ハウスや畑地における気象環境の改良や研究実験では、気温が代表的要因となっているが、その水平分布(バラツキ)の実態は明確にされていない現状である。気温や地温の温度のバラツキは栽培現場における温度の代表性、さらには栽培管理や暖房管理にも大きく影響を及ぼす。本研究ではそれら温度水平分布の実態を、主として気象条件から明らかにすることを目的とした。得られた結果は下記のごとくである。

(1) 東西棟ハウスの床面における日射量の水平分布(東西方向の10測点)について、散乱日射量の10測点の標準偏差は直達日射量の同標準偏差にくらべて、22%ほど大きかった。日射計と同じ個所に設置した気温(150 cm高)の測点別変化は、換気扇を設置した妻面側に近づくほど顕著な昇温を呈したが、相対湿度(150 cm高)では一定した傾向はみられなかった。

(2) ハウスと露地ともに、昼間における同一深(10 cm深)の水平方向10点地温のバラツキ(標準偏差)と、夜間の同10点地温のバラツキとでは大きな差がみられた。バラツキは経過時間に伴って特異な変化を呈した。またバラツキは露地にくらべてハウスでは2倍程度となった。

(3) ソラマメ畑とダイズ畑の水平方向10点気温と同10点地温のバラツキを、主要気象要因とLAIを説明変数とする重回帰分析によって検討した。ソラマメ畑で

は日射量による影響が気温と地温ともに大きい、ダイズ畑では日射量とLAIによる影響が大きかった。

(4) 水平方向の気温バラツキが影響する具体例として、ハウスの期間暖房負荷熱量とダイズ植被内熱移動量について検討した。

文 献

- 1) 三原義秋編著. 1980. 「温室設計の基礎と実際」 182-204, 養賢堂, 東京.
- 2) 横木清太郎・阿部恒充・亀山謙治. 1967. ビニールハウスの微気象と栽培(I)―高温期における温度と照度―. 生物環境調節 5: 10-13.
- 3) 井上 宏. 1989. ウンシュウミカンの花芽の分化発達の温度条件. 園学誌 58: 75-82.
- 4) POERWANTO, R., H. INOUE, and I. KATAOKA. 1989. Effects of air and soil temperature on vegetative growth and flower bud differentiation of Satsuma Mandarin Trees. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 58: 275-281.
- 5) 西山富久. 1989. 柑橘施設栽培. 果樹園芸 42: 50-51.
- 6) 平井源一・中山 登・稲野藤一郎・中条博良・高市益行・田中 修. 1989. 水稻生育における水田内の水平的変異と微気象 第1報 二, 三の気象要素の水田内水平分布. 日作紀 58: 13-23.
- 7) 鈴木晴雄・棚田英雄. 1988. フィルムマルチ下地温の水平方向のバラツキとマルチ効果. 農業気象 44: 119-126.
- 8) 鈴木晴雄・桜井英二・宮本硬一. 1980. 畦面被覆の微気象に関する研究 IV. 農業気象 35: 243-248.
- 9) 荒井哲男. 1967. 気温測定の精度について(1). 農業気象 22: 109-112.
- 10) 細野達夫・廣部明泰・青木正敏. 1988. 気温における放射除け・通風筒の種類及び形状と測定誤差. 農業気象 44: 215-218.
- 11) 温度計測の実務編纂委員会. 1977. 「温度計測の実務」 61-72, 日本工業出版, 東京.
- 12) 三原義秋. 1971. 施設園芸圃場試験へ温度応答曲線方式導入の提唱. 農及園 46: 721-726.
- 13) 三原義秋. 1972. 「施設園芸の気候管理」 21-42, 誠文堂新光社, 東京.
- 14) 村上律雄. 1969. 敷敷の効果に関する農業気象学研究. 研究時報 21: 639-685.
- 15) 田中 豊・垂水共之・脇本和昌. 1984. 「パソコン統計解析ハンドブックⅡ 多変量解析編」 16-37, 共立出版, 東京.
- 16) 早川誠而・鈴木義則. 1991. 傾斜地の局地気象現象―赤外熱画像が捉えたロール状対流. 日本農業気象学会1991年度全国大会・日本生物環境調節学会第29回集会合同大会講演要旨: 18-19.
- 17) 小澤行雄. 1988. 「園芸施設学入門」 64-73, 川島書店, 東京.
- 18) 黒岩澄雄・門司正三. 1956. 植物群落構造と光, 温度の関係について. 農業気象 12: 1-7.