

ダイズ植被とカンショ植被がフィルムマルチ下地温に及ぼす影響

ポンサアヌティン ティーラサク・鈴木晴雄・松井年行・奥田延幸

Effects of Soybean Canopy and Sweet Potato Canopy
on Soil Temperature Variations beneath Mulch Film

Teerasak PONGSA-ANUTIN, Haruo SUZUKI, Toshiyuki MATSUI and Nobuyuki OKUDA

Abstract

The purpose of this experiment was to determine how the soil temperatures beneath the mulch were influenced by different types of canopy. Soybeans and sweet potatoes were used for the experiment, and were grown in an open field and in a greenhouse.

The influence of canopy on the soil temperature was smaller in the greenhouse than in the open field. The differences of influence exerted by different canopy types were smaller when there was mulch than when there was no mulch. Soil temperature thresholds determine the order relation between the soil temperatures of two plots. The comparison of such thresholds revealed that the differences of influence on the thresholds were larger in the greenhouse than in the open field, both when the soil temperature was at its lowest (at 6:00) and its highest (at 15:00). In terms of the shadow ratios by canopy, prostrate canopy like sweet potatoes exerted greater influence on the thresholds than erect canopy like soybeans. This was more so in the greenhouse than in the open field. On the relationship between the thresholds and meteorological factors, the meteorological factors that exerted influence on the lowest and highest soil temperatures were different between the greenhouse and the open field.

Key words: Erect canopy, Greenhouse, Mulch, Prostrate canopy, Soil temperature.

1. はじめに

マルチ栽培下の地温変化には、マルチのみでなく植被も大きく影響を及ぼす¹⁾。植被は立性か伏性などの形態により、地温への影響度が異なることが報告されている²⁾。これらはいずれも露地における実験結果である。ハウスにおいてもマルチはかなりの施設面積を占めている現状³⁾から、栽培管理上、ハウス下での植被型の違いによる地温変化への影響を明らかにすることが重要である。

ハウス内マルチにおける植被型の違いについて既報⁴⁾では、模型植被を用いた実験をおこなって地温変化の違いを論じた。しかし、模型植被と実際の植被とでは、土壌環境に及ぼす影響など基本的に異なる場合もある。

そこで本実験は、ダイズと甘藷をそれぞれ立性植被と伏性植被にみため、ハウスと露地において、マルチと植被が地温変化に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験区の設置と測定方法

2.1 実験区の設置

本実験は2005年4月19日から6月30日にかけて、香川大学農学部の実験圃場とハウスで行った。圃場では南北方向に6畦を作成した。各畦の大きさは、長さ12.2m、幅90cm、畦高15cmであり、各々の畦を一つの実験区とした。

他方のハウスは、奥行き16.6m、間口5.4m、高さ2.6mの南北棟のガラス温室である。ハウス内では床面の位置によって日射量が異なることから、圃場の場合と異なっ一つ一つの畦（幅90cm、長さ7.0m、畦高20cm）を西側と東側に二分し、さらに両側の実験区の配列を1週間ごとに換え、日射量の場所による違いを少なくするようにした。すなわち、実験区の数には圃場と同様に6区ではあるが、畦数はハウスの西側と東側にそれぞれ6畦の計12畦とした。

次に圃場とハウスともに計6区中、3区に黒色ポリエ

チレンフィルムマルチ（0.03mm厚）を被覆し、残りの3区は無被覆状態の無マルチとした。各々の3区の中の1区には、立性植被のダイズ（幸福枝豆）を栽培し、次の1区には伏性植被のカンショ（高系14号）を、残りの1区は無植生の状態とした。これら各区の処理状況はTable 1に示した。

なお、マルチの各区では、フィルムに径6.5cmの植穴を株間30cm、条間45cmの2条として空け、さらに植生の2区では各植穴に供試作物を植えた。なお、カンショは2植穴ごとに1株の割合で植えた。無マルチの各区でもマルチの区と同様に植穴を設定した。

2.2 測定項目と測定方法

実験期間中は主に熱収支、地温、土壌水分について測定を行った。純放射量は圃場とハウスにおいて、無植生無マルチの実験区中央部に、純放射計（英弘精機、CN-40）を50cm高に設置し、測定した。地中伝導熱量は熱流板（英弘精機、CN-8）を用い、実験区の畦頂部の中央付近に約2mm覆土して埋設した。顕熱伝達量と潜熱伝達量は分離せず、熱収支の残余として算出した³⁾。

地温センサーはT型熱電対（径0.65mm、0.75級）を用いて作成し、各実験区中央部の地下10cmに、畦方向30cm間隔で埋設した。これらの記録は1時間毎の瞬時値をロガーで収録した。

土壌水分張力は、テンシオメーターを実験区中央部の地下10cmに埋設し、連日午前9時の値を読み取った。また、土壌含水率についても測定し、各区地下10cmの土壌を2点ずつ採取し、乾熱法によって含水率を求めた。

上記以外の気象要因については、実験区内の百葉箱内の測定値と、隣接した気象観測露場の測定値を利用した。

Table 1 Experimental details.

Plot	Mulch ¹⁾	Canopy	Number of plant per plot ²⁾	
			Open field	Greenhouse
Ne	No mulch	Soybean	80	40
Np	No mulch	Sweet potato	40	20
Nn	No mulch	(No canopy)	0	0
Me	Mulch	Soybean	80	40
Mp	Mulch	Sweet potato	40	20
Mn	Mulch	(No canopy)	0	0

1) Balck polyethylene film, 0.02 mm thick.

2) Plot size: 0.9 m x 12.2 m.

3. 実験結果及び考察

3.1 地温差の頻度分布

地温は同一深でも地点ごとにバラツキがあるにもかかわらず、実際の地温の測定点数は1点の場合がほとんどである⁵⁾。また、地温の比較において2区間比較がその最小単位と考えられることから、ここではマルチ下の地温1点測定による地温差の分布について検討した。

各区同一深（10cm深）の10点地温から1区につき1点を選び、2区間地温差の分布特性について6時と15時の測定結果を比較した。この2区間の地温差は、10×10の計100通りの組合せとなる。それらの地温差を各温度階級別に期間中の頻度として求め、Fig. 1に示した。なお、Fig. 1の各図（a～l）には各々2区の期間平均地温も表示した。

各図の期間平均地温をみると、ハウス内外、時間帯、植被の有無と種類にかかわらず、マルチ>無マルチの関係であり、マルチ下が無マルチよりも1.0℃から3.6℃ほど高温であった。しかし、一定した傾向はなかった。

次に地温差分布について露地の6時では、無植生下（Fig. 1のa）の地温差は約2.0℃に集中しているのに対し、カンショ（e）とダイズ（i）では地温差の範囲が広まった。ハウスの場合（c, g, k）では、いずれも露地よりも分布範囲が2～3℃大きくなり、2℃付近に最大頻度を持つ分布型を呈した。

15時の露地（b, f, j）になると、無植生下（b）は約0℃に最大頻度を示し、カンショ（f）でも同様であったが、分布の範囲はより広まった。ダイズでは約2℃に最大頻度が出現した。他方、ハウスでは（d, h, l）、いずれの最大頻度も露地の場合よりも大きい地温差（約3℃）に移行した。

これら分布型がそれぞれ異なる基本的原因は、本実験では明らかでないが、マルチ被覆処理による高い地温と土壌水分の動態変化が考えられる⁶⁾。また、分布に影響するカンショとダイズの植被型の違いも原因の一部と考えられた⁴⁾。

3.2 地温の高低関係

既報⁷⁾の場合と同様にして、2区間地温の高低関係についてt検定を用いて判定した。すなわち、t値が有意の時、便宜的に10点平均値の高い区を高温とし、有意でないときは高低関係が認められないとした。圃場とハウスについて15時の場合をFig. 2に示した。

Fig. 2のマルチ—無マルチ区間について圃場（Fig. 2のa）では、いずれもマルチ>無マルチの頻度が高いが、伏性（Mp-Np）では無植生下（Mn-Nn）と立性（Me-Ne）

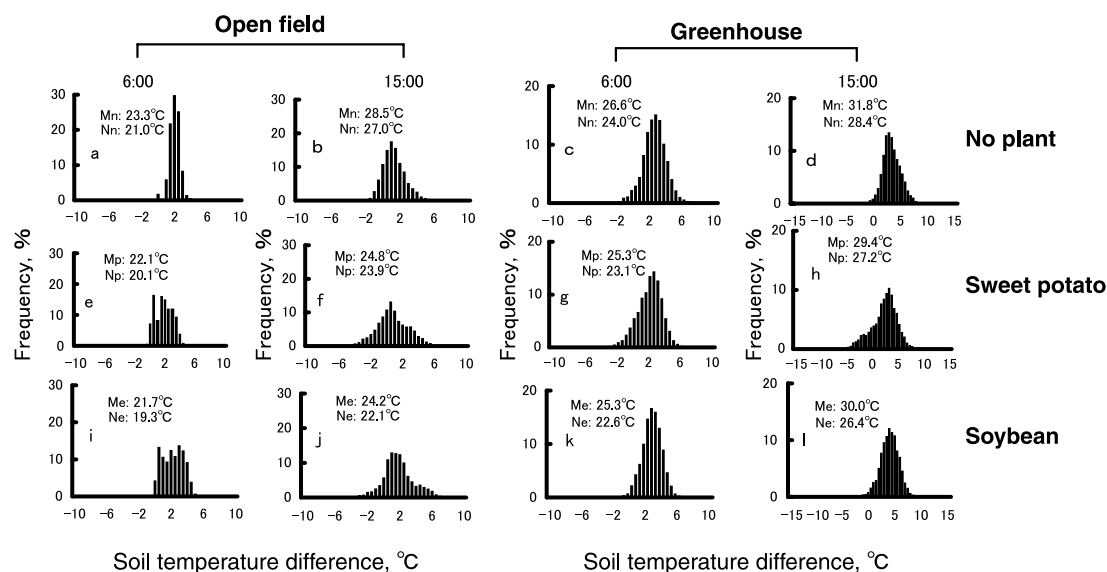


Fig. 1 Frequencies (%) of distribution of soil temperature differences at 10 cm depth between two plots from April 19 to June 30 in 2005. The differences between two plots were determined from 10 points in each plot at open field and greenhouse. Plot symbols are the same as in Table 1.

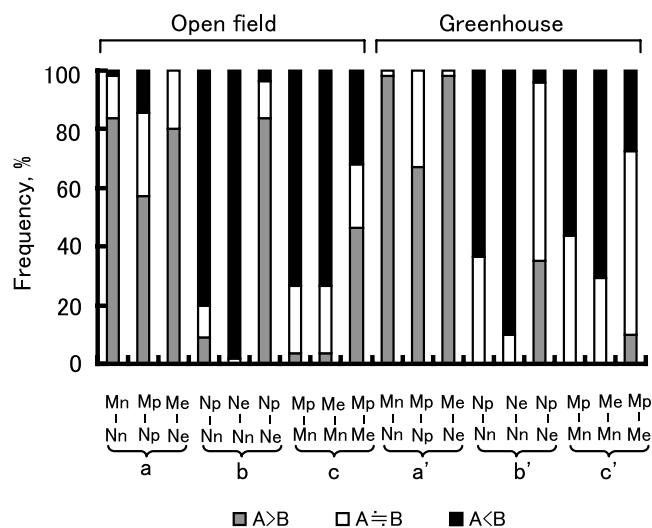


Fig. 2 Frequency of order relation for mean of 10 soil temperatures at 10 cm depth between 2 plots (A, B) at 15:00 from April 19 to June 30 in 2005.

に比べて20%もマルチ>無マルチの頻度が低下した。ハウス (a') でも同じ傾向ではあったが、全体的にマルチ>無マルチの頻度は圃場よりも高く生じた。

無マルチの区間について圃場 (b) では、両植被 (Np, Ne) は裸地 (Nn) に比べて地温低下が顕著であったが、植被間 (Np-Ne) では立性が伏性より高い頻度が目立った。なお、この立性と伏性間の厳密なる比較には、両者の総葉面積など植被量が等しい条件が前提となる。また、植被量の影響は、植被による地表面での陰影面積の割合 (地被率) との関係から、後述 (3.3.2のb) した。

ハウスになると、両植被 (Np, Ne) が裸地より低温

になる頻度は下がり、立性では露地の場合よりも15%、伏性では7%も低下した。つまり、ハウスでは植被の地温抑制度は圃場の場合よりも小さく生じた。

次にマルチの区間について圃場 (c) では、両植被間 (Mp-Mn, Me-Mn) に区間差は認められなく、いずれも無植生マルチ (Mn) の方が高地温となった。植生間の違い (Mp-Me) は明瞭でなかった。

ハウス (c') の両植被間 (Mp-Mn, Me-Mn) では、無植生マルチ (Mn) が高地温になる割合は下がり、さらに伏性植被下でその傾向が大きく生じた。植被間の差 (Mp-Me) は顕著に小さくなり、Mp = Meの関係は圃場の場合よりも44%も増加した。

このように、圃場に比べてハウスでは、植被が地温に及ぼす影響度は小さくなった。また、植被間の差は無マルチ下に比べてマルチ下では小さく生じた。

3.3 地温差の閾値と地温高低関係

3.3.1 閾値と高低関係

2区間の地温の高低を判定する場合、両区で代表地温1点が得ることが出来れば、地温差に閾値を設定することで判定は容易に行える。そこで2区間に0℃から2℃の地温差範囲を設けて0.2℃毎に閾値を設定した。Fig. 3は圃場での15時について、無植生状態のマルチ区—無マルチ区間 (Mn-Nn)、伏性植被下のMp-Np区間、立性植被下のMe-Ne区間における各閾値での出現頻度で示したものである。

Fig. 3によると、無植生状態 (Mn-Nn) の閾値0℃では100%に近いMn > Nnの関係が得られたが、閾値1.0℃

ではそれが70%にまで減少した。伏性植被下 (Mp-Np) でも閾値が高くなるとマルチ>無マルチの関係が減少したが、他方のマルチ<無マルチの減少も顕著となった。

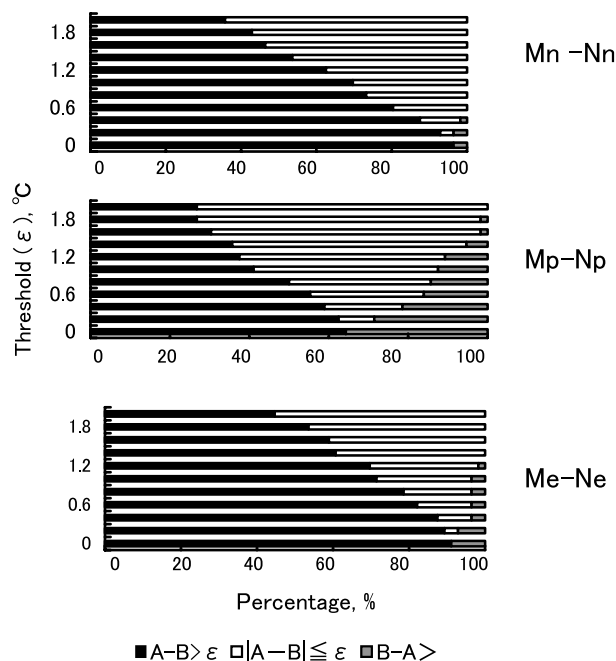


Fig. 3 Ratio of 3 categories ($A-B > \varepsilon$, $|A-B| \leq \varepsilon$, $B-A > \varepsilon$) plotted for different values of the threshold (ε). The threshold is expressed by the soil temperature difference between plot A and plot B. Soil temperatures were measured at 10 cm depth at 15:00 from April 19 to June 30 in 2005 at open field.

立性植被下 (Me-Ne) では、マルチ<無マルチの関係は伏性植被ほど現れず、全体として無植生状態に近い閾値の変化がみられた。

これらの高低関係を示す閾値は、10点地温の高低関係 (前述3.2) と一致するのが望ましいが、一致点は期間中の気象条件等によって変化する⁷⁾。

3.3.2 地温の高低関係と気象条件

a. 閾値の推移

10点地温による高低関係と、それと一致する閾値を半旬ごとにそれぞれ求め、Fig. 4に示した。Fig. 4について6時の場合をみると、圃場 (Fig. 4のA) では全体的に4月第4半旬から6月第6半旬にかけて、各区間とも閾値は下がる傾向にあった。4月第4半旬から5月第1半旬にかけては、立性 (Me-Ne) > 無植生 (Mn-Nn) > 伏性 (Mp-Np) の順となり、立性での閾値が最も高くなったが、5月第2半旬以降は一定した関係はみられず、6月第3半旬以降の両植被間の差は小さくなった。

これに対してハウス (B) になると、全体的傾向は圃場の場合と同じであり、4月第4半旬から5月第5半旬までは3区間に一定した傾向は得られなかった。その後は立性>無植生>伏性の関係がみられ、植被型による閾値の差が明確に生じた。ハウスでは夏季に向かって立性植被間の閾値が最も高く、また3区間差が明確化した。

次に15時の圃場 (C) では、6時の場合のような閾値の減少傾向や3区間の差は明確でなかった。ただ、4月第4半旬から5月第3半旬までは、立性植被の閾値が顕著に高くなった。

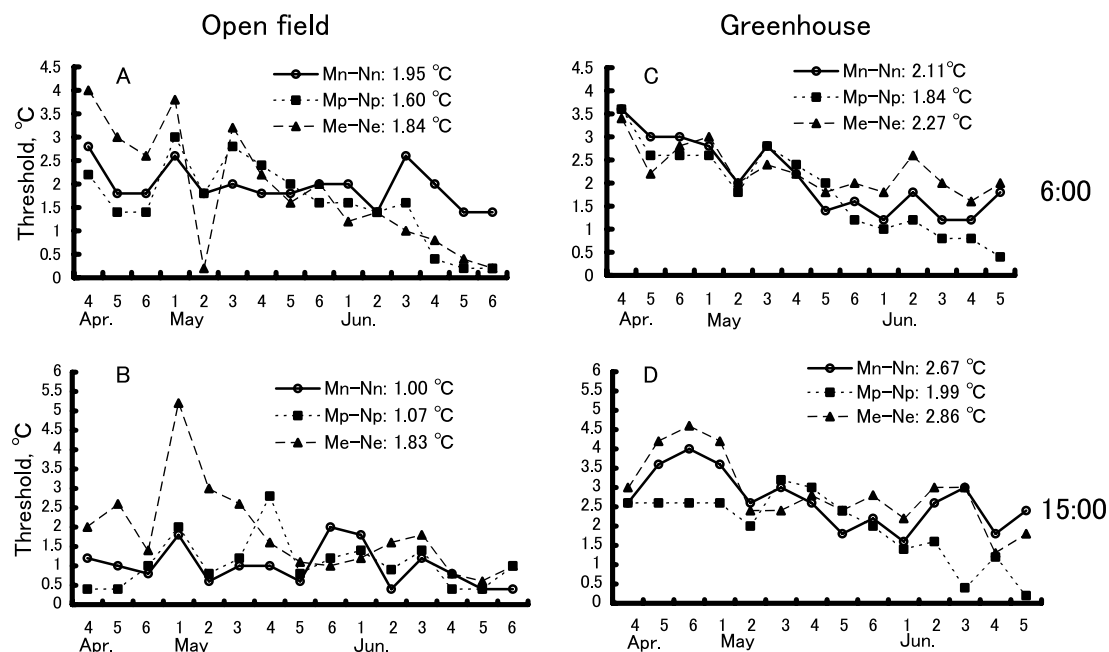


Fig. 4 Seasonal variations of threshold of soil temperature difference at 10 cm depth between the two plots from April 19 to June 30 in 2005. Plot symbols are the same as in Table 1.

ハウス（D）になると、4月第4半句から6月第5半句になるに従って、いずれの3区間も全体的に減少した。ただ、4月第4半句から5月第2半句までと、5月第6半句から7月第2半句では立性＞無植生＞伏性の関係となり、圃場と同様に立性間の閾値が最も高かった。その他の期間では明確な関係はみられなかった。

このように15時の閾値について圃場では、季節の推移や植被繁茂による影響はみられなかったが、ハウスではそれらの影響がみられ、さらにハウスでは期間によって両植被間の差が明確になった。

以上のようにハウスでは、6時と15時を通じ圃場に比べて閾値に対する植被間の差が明確になった。

b. 閾値と地被率

植被繁茂に伴って植被の陰による地温変化への影響度が大きくなる。そこで、地被率と先の地温の閾値との一致点（Fig. 4）を、Table 2に表した。

Table 2によると、ダイズを栽培した圃場では、マルチ下の方が無マルチ下よりも回帰式の係数が大きくなった。ハウスでも同じ傾向であったが、圃場の場合よりもマルチ下と無マルチ下の係数は小さくなった。つまり、ハウスの方が地被率の変化による閾値の低下度は小さくなった。

カンショの圃場では、ダイズの場合とは逆にマルチ下の方が無マルチ下よりも係数は小さくなった。ハウスでは圃場の場合よりも、マルチ下と無マルチ下の係数は各々68%と81%も高くなった。

カンショのような伏性植被では、ダイズの場合よりも閾値に与える影響度がハウスでは大きいことが示された。

c. 閾値と気象要因

閾値の一致点の推移は気象条件による影響が大きい。そこで一致点を重回帰分析における目的変数とし、説明

変数を気象条件とした重回帰分析を行った（Table 3）。気象条件は代表的要因としての日平均気温、降水量、日射量、日平均風速の4要因と、土壤水分張力を加えた計5要因とした。なお、分析は変数増減法によった。Table 3の各変数の係数は、標準偏回帰係数で示した。

Table 3によると、圃場の6時の伏性と立性では、無マルチの草高が共通して選択された。ハウスでは3区間ともに気温が共通となったが、伏性と立性では係数の正負が異なった。

15時の圃場では、3区間ともに土壤水分張力（マルチ区）が共通に選択された。ハウスでは両植被区間でマルチ区の草高が共通して選択されたが、植被により変数の係数の正負が分かれた。

このように、閾値と気象条件との関係が得られたが、十分に明らかでない結果もある。この原因として、従来では目的変数として地温そのものの変化量を用いているので⁷⁾、この地温は気象条件に比較的良好に追従した。今回は10点地温による高低関係と一致する閾値を変数としており、この目的変数には気象要因が直接的に影響しなかったと考えられた。

以上、6時の圃場では植被区間に草高の影響がみられたのに対し、ハウスでは3区間に気温による影響が大きかった。15時では、圃場の3区間に土壤水分張力の影響が大きかったが、ハウスでは植被による影響が目立った。

4. まとめ

本実験は、ダイズとカンショのマルチ栽培を圃場とハウスで行い、マルチ下地温に対する植被型の違いを明らかにするために行った。実験結果から、圃場に比べてハウスでは、植被が地温に及ぼす影響の小さいことが明かに

Table 2 Relation between threshold of soil temperature difference between two plots and ratio of plant shadow area to no shadow area.

			Equation ¹⁾	r
Soybean	Open field	Mulch	$T = -0.66\text{Ln}(\text{Sr}) + 4.47$	0.512
		No mulch	$T = -0.54\text{Ln}(\text{Sr}) + 3.92$	0.442
	Greenhouse	Mulch	$T = -0.58\text{Ln}(\text{Sr}) + 4.35$	0.807
		No mulch	$T = -0.47\text{Ln}(\text{Sr}) + 3.84$	0.733
Sweet potato	Open field	Mulch	$T = -0.34\text{Ln}(\text{Sr}) + 3.21$	0.644
		No mulch	$T = -0.37\text{Ln}(\text{Sr}) + 3.16$	0.692
	Greenhouse	Mulch	$T = -0.57\text{Ln}(\text{Sr}) + 3.89$	0.749
		No mulch	$T = -0.67\text{Ln}(\text{Sr}) + 3.99$	0.775

1) T = Threshold of soil temperature difference between two plots.
Sr = Shadow ratio.

Table 3 Standard partial regression coefficients in the multiple regression between soil temperature difference of plot A - plot B at 10 cm depth and meteorological factors from April 19 to June 30 in 2005.

		A-B	Meteorological factor ¹⁾						Multiple regression coefficient ²⁾		
			Te	Ia	Um	SmA	SmB	PhA		PhB	
6 :00	Open field	Mn-Nn			− 0.501	− 0.488		−	−	0.718	
		Mp-Np							− 0.948	0.942	
		Me-Ne		0.369					− 0.756	0.739	
	Greenhouse	Mn-Nn	− 0.645					−	−	0.602	
		Mp-Np	− 0.877							0.860	
		Me-Ne	0.629					− 1.158		0.670	
15 :00	Open field	Mn-Nn				− 0.559	− 0.335	−	−	0.590	
		Mp-Np					− 0.559			0.486	
		Me-Ne	0.798			− 0.513		− 1.059		0.885	
	Greenhouse	Mn-Nn	− 0.423					−	−	0.322	
		Mp-Np		0.397					1.699	− 2.584	0.893
		Me-Ne					0.623	− 1.028		0.571	

1) Notations: Ia = amount of insolation, Te = daily mean air temp., Pr = amount of precipitation, Um = daily mean wind velocity, SmA = soil moisture suction (A), SmB = soil moisture suction (B), PhA = plant height (A), PhB = plant height (B).

2) Adjusted for the degrees of freedom.

なった。また、植被型による違いは、無マルチ下に比べてマルチ下では小さく生じた。2区間の地温の高低を決定する地温の閾値について、ハウスでは圃場に比べて最低地温（6時）と最高地温（15時）ともに閾値に対する植被型による差が明確に生じた。地被率についてカン

ショのような伏性植被では、立性植被のダイズよりも閾値に与える影響がハウスでは大きかった。閾値と気象要因の関係について圃場とハウスでは、最低地温と最高地温に影響を及ぼす気象要因は異なった。

引用文献

- 1) 鈴木晴雄, 神近牧男, 松田昭美, 宮本硬一: 砂丘地におけるフィルムマルチの地温への影響. 農業気象, **41**, 207-216 (1985).
- 2) アチャナ デュアンパン, 鈴木晴雄, 中西景子, 奥田延幸, 松井年行: 作物の植被型がフィルムマルチ下地温に及ぼす影響. 農業気象, **58**, 23-32 (2002).
- 3) Takakura, T.: Climate under cover. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.1-8 (1993).
- 4) Teerasak Pongsa-anutin, Haruo Suzuki, Toshiyuki Matsui: Deviations in horizontal distribution of soil temperatures, *J. Agric. Meteorol.*, **60**, 697-700 (2005).
- 5) Bonanno, A. R. and Lamont, Jr. W.J.: Effect of polyethylene mulches, irrigation method, and row covers on soil and air temperature and yield of muskmelon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **112**, 735-738 (1987).
- 6) Ahang Kowsar, Boersma, L. and Jarman, G.D.: Effects of petroleum mulch on soil water content and soil temperature. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **33**, 783-786 (1969).
- 7) ボンサアヌティン ティーラサク, 鈴木晴雄, 松井年行, 奥田延幸: ハウス内マルチ被覆下の地温におよぼす植被型の影響. 農業生産技術管理学会誌, **13**, 70-75 (2006)

(2006年10月31日受理)