農業気象 (*J. Agr. Met.*) 35(4): 243–248, 1980

畦面被覆の微気象に関する研究

Ⅳ. 寒冷紗の遮蔽と黒色ポリエチレンフィルムの被覆による地温効果

鈴木晴雄・桜井英二・宮本硬一

(香川大学農学部)

Studies on the Microclimate of the Mulched Row Surface.
(4) Effects of model canopy and mulch with black polyethylene film on the soil temperature environment.

Haruo SUZUKI, Eiji SAKURAI and Koichi MIYAMOTO

(Faculty of Agriculture, Kagawa University,)
(Miki-cho, Kagawa Pref., Japan, 761-07)

1. ま え が き

畦面被覆栽培の現状では、作物の生育初期から収穫までの長い期間被覆されており、必ずしも栽培期間中の気象の変化を考慮した被覆法が行われているとは言えない。また、作物の生育に伴って茎葉の繁茂が微気象の効果を変化させるにもかかわらず、それら被覆資材と植被(茎葉)の効果は分離されず一括して取り扱われ、植被の微気象的役割は明確にされていない。

筆者の1人は、色々な被覆資材が作物の生育におよぼす影響について既に報告した(鈴木ら, 1977 a; 鈴木ら, 1977 b)。ここでは黒色ポリエチレンフィルム被覆と植被(模型)の畦間気象に対する個々の効果、および植被と被覆の複合効果を、茎葉の遮蔽を模して、主に地温の面から明らかにしようとした。

本報告では、放射を制限する遮蔽(植被)および地表からの蒸発散や熱交換等を抑制する被覆の効果を対象としており、用語の混乱を生じないように、以下、「被覆」を「マルチ」と表現することとする。

なお、本報告は、昭和52年度文部省科学研究費補助金(奨励研究A)により、同年度8月から12月まで行ったものである。

2. 実験設備および測定方法

実験は香川大学農学部構内圃場に、東西方向の2畦(畦長10.8 m, 畦幅1.3 m, 畦高25 cm)を設けて行った。両畦ともに6等分(1.8 m×1.3 m)して、1畦は黒色ポリエチレンフィルム(幅180 cm, 厚さ0.04 mm)でマルチして被覆畦(マルチ畦)とし、他方は無マルチのまま無被覆畦(無マルチ畦)とした。さらに、茎葉繁茂の程度による温度効果を比較するため、茎葉による日射の抑制を寒冷紗の遮蔽によるそれによって代用した。両畦の1対の各区について、同一方法、同一資材(寒冷紗, テイジン AE 135, 黒色T-600)により、日射の透過率を6段階に抑制した。寒冷紗を張った枠(1.75 m×1.3 m)は、対照区以外の各区に畦面上10 cmの高さで水平に固定した。後述の方法により測定した結果、各区の日射の透過率はTable 1(日平均値)のとおりである。耕地では、生育の初期においては植被による不均一な畦面への透過から、地温の水平的温度差が生じやすく、一定した地温の傾向を得ることは困難である。しかし、本方法を採用すれば、地被率(小倉, 1969)は畦面上に平均化される。

実験期間中、全区について熱収支項、地温(−5 cm)および土壌水分(−5 cm)を連日観測した。

熱収支項の測定は、マルチ畦と無マルチ畦の各対照区(寒冷紗遮蔽しない区, No. 1, No. 7)の中央部に測器を設置して行った。すなわち、地上50 cmの高さにアルベ

Table 1. Transmissivity of solar radiation in each plot.

Plot		Number of lawns	Transmissivity of solar radiation
Mulch	No mulch		
No. 1	No. 7	0	100
No. 2	No. 8	1*	56
No. 3	No. 9	1	50
No. 4	No. 10	2	23
No. 5	No. 11	3	12
No. 6	No. 12	4	6

* Holes (6 mm in diameter) were punched at regular intervals.

ド計(農試電試型, 中野製作所)と純放射計(CN-6型, 英弘精機)を, また, それらの直下に地中熱流板(CN-8型, 英弘精機)を約1mm覆土して設置し, それぞれ自記させた。対照区以外の各区では, 日射の透過率をモル・ゴルチンスキー型日射計(英弘精機)によって, 測定時刻ごとに測器を移動して読みとった。

地温の測定は, 銅-コンスタンタン熱電対(径0.5mm)を使用した。測点は各区の中央部の地下5cmに設け, 自記記録させた。

土壌水分は, 各区の中央部の地下5cmにガラスブロック製電気抵抗素子(2.6×1.9×0.8cm, 島津製作所)を埋設し, 連日午前9時に値を読みとった。なお, 含水率への換算は, 地温の変化を考慮した検定曲線から読みとった。

また, 熱収支, 微気象の変化を得るため, 毎月1回の24時間観測を実施した。

3. 結果および考察

3.1 マルチによる微気象効果

(1) 熱収支

マルチのみの効果をみるため, 日射を抑制しない両対照区No.1, No.7について放射状態を比較した。

3回の24時間観測における1日間の日射量はそれぞれ369 cal/day(8月31日), 332 cal/day(10月2日)および, 238 cal/day(12月23日)であった。また, 両区のアルベドについては季節的特性が得られず, 3回の平均がNo.1で9.5%, No.7で17.3%となり, マルチ畦のアルベドは無マルチ畦のそれのほぼ2分の1であり, 接地気温と地温におよぼす影響は大きいものと推察される。

次にこれら, 両区の熱収支項の値をTable 2に示した。なお, これら熱収支項の符号は, 純放射については天空から地面に与えられるときを正に, また他の熱収支項は, 地表面から地上地下の両側へ熱が流れるときを正とした。顕熱伝達量と潜熱伝達量の和は, 熱収支式の残余として算出した。しかし, No.1では畦面がマルチされている

Table 2. Daily amounts of heat balance components (cal·cm⁻²·day⁻¹).
R: net radiation, B: soil heat flux,
L: sensible heat flux, V: latent heat flux,
Σ: daily total of each component.

	Mulch (No.1)			No Mulch (No.7)		
	R	B	L+V	R	B	L+V
Aug. 31	231.0	46.8	185.4	201.0	58.8	142.8
	-45.6	-36.0	-10.8	-49.2	-32.4	-17.4
	Σ 185.4	10.8	174.6	151.8	26.4	125.4
Oct. 2	219.6	28.8	191.4	215.4	45.0	170.4
	-52.2	-31.2	-21.6	-57.6	-27.0	-30.6
	Σ 167.4	-2.4	169.8	157.8	18.0	139.8
Dec. 23	141.0	38.4	105.6	105.6	45.0	63.0
	-51.0	-36.6	-17.4	-68.4	-43.8	-27.0
	Σ 90.0	1.8	88.2	37.2	1.2	36.0

ので, Vは0とみなすことができる。なお, 被覆資材(マルチ資材)の温度変化に使われる熱量は, 微少のため省略した。

表によると, 昼間の純放射量(正值)および1日間の日積算純放射量(Σ)は, いずれの月もマルチ畦(No.1)の方が多く, 黒色ポリエチレンフィルムの低いアルベドの影響がみられる。純放射の季節性についてははっきりしていないが, 日射量の少ない12月では, 純放射の正值と日積算純放射量の急激な減少がみられ, 昼夜における熱エネルギーの出入は全体的に緩慢になった。

地中伝導熱量は, 両区ともに8月にその日積算量(Σ)が大きく, 12月になるとマルチ畦(No.1)では8月の1/6となり, その季節性が示されている。また, マルチ畦の地中伝導熱量は, 12月を除いて無マルチ畦のそれを下まわった。これについては, 筆者の1人(上原ら, 1976)およびWaggoner et al. (1960)の報告でも同じ傾向が得られている。マルチ畦の地中伝導熱量が小さい理由には, フィルム下の土壌水分の高い(期間中, 無マルチ畦より約12%高い)ことによる土壌熱容量の増大などが考えられる。

したがって, 熱収支式の残余項として得た潜熱顕熱の両伝達量の日積算量(Σ)は, マルチ畦において無マルチ畦より12~68%多い値を示した。しかもマルチ畦では, 純放射量のほとんどが, 顕熱伝達量に移行しているものと考えられる。

このように, 黒色ポリエチレンフィルムの畦面マルチによって, 純放射の昼間量, 日積算量ともに増大すること, 顕熱伝達量とし使われる割合の増加することなどの熱収支特性が明らかとなった。

(2) 地 温

マルチによる温度効果を, 最高, 最低および平均地温

Fig. 1. Dependence of five-day mean of soil temperature difference 5 cm deep between two plots (No. 1, No. 7) on solar radiation (R_s). Open circles: difference of daily maximum temp. ($T_{\max}$), Solid circles: difference of daily mean temp. (T_{mean}).

(半旬平均)についてマルチ畦の対照区(No.1)と無マルチ畦の対照区(No.7)との差によってみることにした。測定期間中における地温経過は、マルチ畦の方がいずれも無マルチ畦より高く、しかも最低地温を除いては、季節的な日射量の通減にともない、昇温効果は次第に小さくなっていった。

そこで、昇温効果と日射量との関係をFig.1に示した。これによると、最高地温では日射量が多くなるほど、マルチ畦はより高温となり、日射量が490 cal/dayでは最高の、約6℃が記録された。しかし、日射量が少なくなると、温度差はほとんど消失する。また、図中の回帰式からは、日射量100 cal/dayごとに約1.2℃の昇温効果が得られる。また、平均地温でも日射量に比例して昇温効果は大きくなり、日射量が490 cal/dayの場合、温度差は約4.5℃となった。この場合も、日射量が100 cal/day増加するごとに、約0.8℃の昇温効果が得られる。

しかし、最低地温では、当然、昇温効果は日射量とは無相関($r=0.0007$)で、その温度差は期間中はほぼ一定しており、マルチ畦は $2.7(\pm 0.4)^{\circ}\text{C}$ (信頼限界95%)高温で経過した。

以上、地温に対するマルチの効果として、昼間には日射量の大小と昇温効果との間に一次式で近似できる量的関係があり、夜間にはある一定の保温効果が認められた。

(3) 土壌水分

マルチ畦と無マルチ畦の土壌含水率の推移(半旬平均)

は次のようになっている。すなわち、測定が開始された当初(8月4半旬)には、マルチ畦の方が無マルチ畦より約2%高い程度であったが、8月5半旬以降、12月4半旬までは、マルチ畦の土壌含水率が約30%に上昇し、ほぼ一定の値を示してマルチによる保水効果が顕著に認められた。それに対して、無マルチ畦の土壌含水率は、10.3~20.6%の範囲で大きく変動し、期間中の平均は17.3%(C.V.16.9)を示し、マルチ畦とはかなり対照的であった。

また、日変化でも、同様の傾向を示した。たとえば8月31日では、マルチ畦の含水率がほぼ一定(平均29.3%, C.V.1.5)であったのに対して、無マルチ畦の方は夜間に高く(最高値15.5%),昼間では低くなって(最低値8.5%),かなりの変動がみられた(平均12.6%, C.V.18.9)。

このように、黒色ポリエチレンフィルムの土壌水分保持に対するマルチ効果は大きく、4カ月(9月~12月)の平均で約12.3%の差がみられ、久米(1970)の実験結果と、傾向としては一致している。

3.2 遮蔽の地温効果

植被による遮蔽を寒冷紗による遮蔽におきかえ、畦面の透過日射量の違いによる昇温効果をみた。地温に対する日射抑制の効果は、対照区との比較で示した。

(1) 半旬平均値

a. 無マルチ畦

無マルチ畦における日射抑制をした5処理区の地温(半旬平均)は、裸地の状態である対照区(No.7)のそれとはいずれも密接な関係(有意差1%)があった。そこで、各処理区の対照区に対する地温差と対照区の地温との関係を回帰式を基にして求め、Fig.2の(a)に示した。なお図中には、この外、同様に求めて、マルチ畦における各処理区の対照区(No.1)に対する地温差と対照区の地温との関係(b)、およびマルチ畦における各処理区の対照区(No.7)に対する地温差と、対照区の地温との関係(c)も表わしているが、これらについては後に述べる。

すなわち、最高地温(8月~12月, No.7で7~37℃)では、対照区の地温が高いほど、日射抑制をした各区と対照区との地温差、つまり処理区の地温の低下度は大きくなる傾向が示された。日射の透過率による地温効果の違いは明確であり、対照区の地温が10℃以下に低下した場合でも、その効果は認められた。

一方、最低地温(2~24℃)では、各区における対照区との地温差は比較的小さく、期間中、どの区も $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 内外であった。また、地温差が0℃になるところ一対照区との交点一は、対照区の地温で22~30℃の範囲にあった。このように、各処理区によって多少の違いはあるものの、大体20℃を下まわるようになれば、どの区においても遮蔽による保温効果が示されるようになる。これは、

Fig. 2. Change in soil temperature difference 5 cm deep between respective plot and the control (No. 7) as influenced by the soil temperature for control plot (five-day mean).

夜間の場合、遮蔽によって畦面上の有効長波放射が抑制され、放射冷却が減少するためと考えられる。

なお、平均地温(6~29℃)では、対照区が10℃まで低下すると、遮蔽による区間差は不明確になる。

以上、無マルチ畦における遮蔽の地温におよぼす効果は、昼間では対照区の地温がかなり低くとも認められた。

b. マルチ畦

無マルチ畦の場合と同様にして、Fig. 2の(b)に各処理区と対照区(No.1)との関係を表わした。

最高地温(8~12月, No.1で8~42℃)では、遮蔽の効果は、無マルチ畦とほぼ同じ傾向であった。ただ、各区

における対照区との地温差については、対照区の地温の低下につれて、無マルチ畦の場合より区間差はより急速に縮小した。すなわち、日射の透過率が23%の無マルチの区(No.10)とマルチの区(No.4)の比較では、対照区(透過率100%)の地温が35℃の時、両畦における対照区(No.7, No.1)からの地温低下はそれぞれ4.4℃, 4.2℃で、ほぼ類似していた。しかるに、地温が10℃になると、地温差は無マルチの区では1.4℃, マルチの区では0.2℃となって、両畦における低下度の差が大きくなった。換言すれば、無マルチ畦とマルチ畦における遮蔽が同程度でも、植被の地温におよぼす効果は、季節によって異なることになる。この理由としては、前述のようにマル

チ畦の土壌水分が高く (No. 4 での期間中の半旬平均含水率, 30.1 %, C.V 5.9), 無マルチ畦 (No. 10 では 24.4 %, C.V 17.0) との差も昼間では特に顕著であったことから, 熱収支が無マルチ畦と著しく異なり, 地温に対する日射抑制の効果が小さくなったものと考えられる。

次に最低地温 (6~28℃) では, 各区の地温は無マルチ畦と同様な変化を示し, その地温差は各区とも ±2℃ 以内で推移した。しかし, 無マルチ畦と異なる点は, 対照区との地温差 0℃ の出現が, 無マルチ畦の場合より約 10℃ も低いところにあるということである。つまりマルチ畦では, 最低地温が約 15℃ 近くにならないと, 遮蔽の保温効果は現われないということになる。このように, 最低地温に対しても遮蔽の効果は, マルチの有無によって異なってくる。これは最高地温の場合と同様, マルチの有無による土壌水分の差にもとづくものであろう。

また, 平均地温 (7~35℃) でも対照区の地温が高いほど, 日射抑制の効果が大きく, 地温の低下と共に対照区との地温差が減少して, 10℃ 付近では 0 になった。

以上, 遮蔽が地温におよぼす効果は, マルチの有無によって若干異なり, 昼間の地温に対しては, 低温になると無マルチ畦に比べ, マルチ畦での地温の低下度は小さくなった。また, 夜間に植被が保温効果を示す時期は, 無マルチ畦より, 季節的に大幅に遅れて出現した。

(2) 日較差比

遮蔽の地温におよぼす効果は, 地温の日較差からもみることができる。そのために, マルチ畦と無マルチ畦の各区について, それらの対照区 (No. 1, No. 7) における地温の日較差でそれぞれの区の日較差を割って (日較差比), 当該期間の気象変化に無関係になるよう, 無次元化した (中山ら, 1971)。

得られた結果は Table 3 の通りで, マルチ畦, 無マルチ畦とも区間差は明りょうである。しかも, マルチ畦で

Table 3. Ratio of diurnal range of soil temperature at 5 cm depth in each plot to that of plots (No. 1 (left) and No. 7 (right)) without model plant canopy.

Mulch		No Mulch	
Plot	Ratio	Plot	Ratio
No. 2	0.82 (76)*	No. 8	0.77
No. 3	0.76 (71)	No. 9	0.74
No. 4	0.71 (66)	No. 10	0.58
No. 5	0.66 (61)	No. 11	0.50
No. 6	0.53 (49)	No. 12	0.43
L.S.D. (5%)	0.04	L.S.D. (5%)	0.02

* Values in parentheses denote the ratios in percent of temperature range to that for no mulch control plot (No. 7).

Fig. 3. Relations between transmissivity of solar radiation and ratio of diurnal range of soil temperature in each mulched plot to that of No. 1 (R_1) and ratio of the range in each no mulch plot to that for No. 7 (R_2).

は全体的に日較差比は大きく, このことから, マルチ畦における遮蔽の効果は, 無マルチ畦より小さいと言える。

これら日較差比と日射透過率との関係を Fig. 3 に示した。これによると, 日較差比と遮蔽による日射抑制とは密接な関係があって, 図中に示した一次式によって近似できた。しかも, マルチの有無による効果を比較すると, 透過率が下がるにつれて, 日較差比の差は大きく開く。これらの関係式を用いれば, 遮蔽下の日射透過率から, 畦の地温の変動幅が推定される。

3.3 遮蔽とマルチの複合効果

(1) 半旬平均値

遮蔽とマルチの両者による地温の効果をみるため, 前記 (2) と同様に各処理区と対照区との地温差と対照区の地温との関係を求め, Fig. 2 の (c) に示した。

これによると, 最高地温では, マルチあるいは遮蔽 (日射抑制) だけの単独効果 (Fig. 2 の (a), (b)) とは若干異なっており, 透過率が 23~56% の区では, 日射抑制による地温の低下が, マルチによる地温の上昇と相殺されたとみることができよう。しかし, 透過率が 6~12% の区では, 地温の低下が対照区の地温が高温になるほど大きく, 対照区の地温が約 12℃ 以下になると, 日射抑制の効果も極めて小さくなる。

一方, 最低地温では, 遮蔽とマルチの有無による地温効果の区間差はほとんどなく, 地温の低下と共に処理区の地温は対照区のそれより高くなった。畦面マルチ下の最低地温には, 日射の透過率はあまり関連しないようである。

なお, 平均地温では, 透過率が下がるにつれて, 地温の上昇度が小さくなるというこれまでの結果と同様であった。

Table 4. Relation between daily total of solar radiation and ratio of diurnal range of soil temperature at 5 cm in depth in mulched plot to that of control plot (No. 7).

Plot	Relation	
No. 1	$H = 0.47 + 0.16 \cdot 10^{-2} \cdot R_s$	$(r \div 0.70^{**})$
No. 2	$H = 0.24 + 0.14 \cdot 10^{-2} \cdot R_s$	$(r \div 0.73^{**})$
No. 3	$H = 0.41 + 0.12 \cdot 10^{-2} \cdot R_s$	$(r \div 0.66^{**})$
No. 4	$H = 0.52 + 0.06 \cdot 10^{-2} \cdot R_s$	$(r \div 0.48^*)$
No. 5	$(H = 0.50 + 0.03 \cdot 10^{-2} \cdot R_s)$	$(r \div 0.40)$
No. 6	$(H = 0.41 + 0.03 \cdot 10^{-2} \cdot R_s)$	$(r \div 0.28)$

R_s : Solar radiation, $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, H : Ratio of diurnal range of soil temp. in each mulched plot to that of No. 7.

(2) 日較差比

マルチ畦の各区について、前記(2)と同様にそれらの地温の日較差と、無マルチ畦の対照区の日較差とで日較差比を求めた。それによると、全般的に日較差比は日射量の多い8, 9月に大きく、日射量の少ない11, 12月に小さくなる傾向があった。そこで、各区の日較差比と日射量との関係を求め、Table 4に示した。

表から、マルチ畦の遮蔽による地温の変化は、明らかに日射量の変化に対応しており、また遮蔽の大きい区ほど、日射量の変化に対する日較差比の変動は小さいことが分る。この関係を用いて、裸地における地温の日較差と日射量から、マルチ畦での遮蔽下の地温も、推定できると考えられる。

以上、植被の模型を用いてマルチの地温におよぼす効果を色々述べてきたが、実際の植被の場合、その構造や葉面積密度が模型とはかなり異なっており、また、作物の種類、生育ステージごとにも異なって複雑である。今後は圃場における数種の作物群落を対象として、検討をすすめていくつもりである。

引用文献

- 久米英夫, 1970: タバコのフィルムマルチ栽培における土壌水分, 地温について, 生物環境調節, **7**(2), 31-36.
- 中山敬一・大内軍二, 1971: 畑地における消費水量の効率上昇に関する研究(Ⅲ), 農業土木学会論文集, **35**, 15-19.
- 小倉祐幸, 1969: 空気調和ガラス室における入射エネルギーと蒸散の関係, 日本作物学会紀事, **38**, 163-167.
- 鈴木晴雄・上原勝樹・宮川秀夫, 1977 a: 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅲ被覆の資材・方法の相違が作物の生育に及ぼす影響(その1), 香大農学報, **28**, 37-49.
- 鈴木晴雄・上原勝樹・宮川秀夫, 1977 b: 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅲ被覆の資材・方法の相違が作物の生育に及ぼす影響(その2), 香大農学報, **28**, 51-62.
- 上原勝樹・宮川秀夫・鈴木晴雄, 1976: 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅱ断熱資材を用いて掛けはずしを行った場合(その2), 香大農学報, **27**, 33-41.
- Waggoner, P. E., Miller, P. M. and H. C. De Roo, 1960: Plastic mulching-principles and benefits. *Bull. Conn. Agr. Exp. Station*, **634**, 1-44.