

香 川 大 学 農 学 部 紀 要

第 46 号

1986年10月

MEMOIRS OF FACULTY OF AGRICULTURE

KAGAWA UNIVERSITY

No. 46, October 1986

畑地栽培におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす
影響に関する農業気象学的研究

鈴 木 晴 雄

香 川 大 学 農 学 部

香川県木田郡三木町

FACULTY OF AGRICULTURE, KAGAWA UNIVERSITY

Miki-tyô, Kagawa-ken, Japan

香川大学農学部紀要

第 46 号

1986年10月 発行

各研究室の業績を発表するため、本学部は“香川大学農学部学術報告”と“紀要”を発行している。この“紀要”は研究の完成した比較的長い論文を発表するために発行されている。既刊の標題は最後の i-iv 頁に記載されている。“学術報告”および“紀要”の交換または寄贈については、香川県木田郡三木町 香川大学農学部 (☎761-07) あて照会されたい。

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

No. 46, October 1986

The Faculty of Agriculture, Kagawa University publishes “Technical Bulletin” (Gakuzyutu Hokoku) and “Memoirs” (Kiyô), and latter contains extended treatises. The titles of each number of “Memoirs” are printed on the pages i to iv inside back cover. Correspondence concerning the exchange of publications should be directed to Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki-tyô, Kagawa-ken, Japan, 761-07.

畑地栽培におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす 影響に関する農業気象学的研究

鈴木 晴 雄

Agrometeorological Studies on the Effect on Soil Temperature, of Film Mulching and Canopy in the Upland Mulching Culture

Haruo SUZUKI

目 次

緒 言	1
第1章 マルチによる栽培例	3
第1節 マルチと大豆の生育	3
1. 実験方法	3
2. 実験結果と考察	4
第2節 マルチと甘藷の生育	6
1. 実験方法	6
2. 実験結果と考察	6
第3節 要 約	10
第2章 フィルムマルチが地温に及ぼす影響	11
第1節 フィルムマルチのアルベトの大小と地温	11
1. マルチ資材の種類と地温	11
2. 実験観測の設備と測定方法	11
3. 実験結果と考察	12
第2節 マルチ被覆の方法と地温	18
1. 被覆時間と地温	19
2. 実験観測の設備と測定方法	19
3. 実験結果と考察	19
第3節 フィルムマルチの植穴と地温	24
1. 植穴の有無と地温	24
2. 実験観測の設備と測定方法	24
3. 実験結果と考察	26
第4節 要 約	34
第3章 フィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響	36
第1節 植被模型と地温	36
1. 植被と地温	36
2. 実験観測の設備と測定方法	36
3. 実験結果と考察	37
第2節 植被による場合	42
1. 実験観測の設備と測定方法	42
2. 実験結果と考察	43
第3節 要 約	51

第4章 被覆栽培施設におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響	53
第1節 トンネル栽培における場合	53
1. 被覆栽培施設とマルチ	53
2. 実験観測の設備と測定方法	53
3. 実験結果と考察	54
第2節 ハウス栽培における場合	63
1. 実験観測の設備と測定方法	63
2. 実験結果と考察	64
第3節 要 約	72
第5章 フィilm下の土性の相違と地温変化	74
第1節 砂丘地における植被とマルチ	74
1. 実験観測の設備と測定方法	74
2. 実験結果と考察	75
第2節 要 約	84
結 語	86
引用文献	90
英文要約	94

緒 言

露地栽培やハウス栽培などでは、従来より各種の畦面被覆（マルチ, mulch）が行なわれており、その技術は作物生産に大きく寄与している。このマルチの語源は、約300年前の「湿って腐ったもの（有機物）」に由来している⁹⁶⁾。マルチとして用いられた資材は、当時の有機物（収穫物の残渣）から、今日のポリエチレン、ビニール等のプラスチック資材に変遷してきた。我が国で、マルチにプラスチック資材が用いられだしたのは、昭和30年代にはいつてからで、その後の普及率は目覚ましい⁸⁴⁾。また、今日の世界では、特に中国におけるフィルムマルチ施設面積の増加が顕著である¹⁸⁾。

マルチの効果は、よく知られているように地温の上昇・下降、土壤水分の保持、雑草防除、土壤侵食の防止などがある。他方、短所としては、中耕・除草などの作業の困難性、降水の利用効果の低いこと、真夏における地温の異常な高温等がある^{15, 59, 61)}。こうしたマルチによる諸効果を微気象的観点からみた報告書も、今日まで多数みられる。

すなわち、前世紀に耕地の表面を藁や刈草などの有機物で覆うことによって、微気象（蒸発量）の差異が生じる事が確認されている⁷⁾。

今世紀の1920年代から1930年代においては、米国でパイナップル、カンタロープに対するペーパーマルチが広く普及し、効果が認められている²⁷⁾。

また、マルチに関する報告は1950年代から1970年代にかけて多くでており、Davies (1975年) が約1000編に及ぶ報告を詳細にまとめている⁷⁾。この報告によると、熱帯、温帯の各栽培種（果樹、蔬菜、花卉、作物）ごとに、使用する各種のマルチを有機物、無機物に大別し、温度、土壤水分、土壤侵食、土壤の物理性、病害虫、生育・収量、雑草の抑制などの項目毎に分類し、マルチの諸効果について述べている。特にその中で、作物の根圏環境として重要である地温については、マルチを藁のような有機物、プラスチック資材を中心とした無機物とに大別し、それらの資材による物理的な温度効果について報告している。

マルチの地温効果については今日においても、なお、多数公表されつつある。例えば地温の調節に関連するものとして、Harper and Ferguson (1979年)¹²⁾、Osafu and Millbourn (1975年)⁶³⁾は石油マルチによる地温と発芽を、久米 (1970) はタバコ栽培におけるフィルムマルチの影響を³⁴⁾、松田ら (1978, 1979) は砂丘地のフィルムマルチにおける放射バランス項と地温について報告している^{43, 44)}。さらに、Unger (1978年) は藁マルチによる地温とソルゴーの生育を⁹³⁾、Varadan and Rao (1983年) はマルチによる地温と熱帯作物の栽培を論じている⁹⁵⁾。マルチによる地温とその被覆率との関連を調べたり^{17, 54)}、地温とマルチフィルムの光透過特性^{18, 19)}やマルチ資材の厚さとの関係をみたり⁵⁰⁾、さらにマルチ下の地温変化を理論的に予測する研究も行われている^{31, 38, 39)}。

しかし、これまでの地温についての研究の大多数のものは、無植被の場合のマルチ資材のみによる温度効果か^{51, 88)}、あるいは、マルチ栽培で使用したマルチ資材について収量の面から資材の優劣を論じた事例的報告が多い^{16, 66, 97)}。植被そのものによる自己マルチ効果^{45, 98)}とマルチ単独効果は明確にされていない。さらに、マルチの効果は、作物の生育初期から収穫までの栽培期間中の気象の変動によって変化するにもかかわらず³⁾、期間による効果の定量化もなされていない。

このようなマルチ栽培における未解決の問題点を明確化することにより、合理的マルチ栽培体系化の基礎が確立できるものと思われる。

そこで、本研究は、次のような観点から行った^{66-74, 76, 77, 88-91}。

①代表的なマルチ資材を用いて、大豆と甘藷の栽培を行い、地温の差による生育への影響を調べ（第1章第1・2節）、さらに使用したマルチ資材による地温効果について検討した（第2章第1節）。②マルチは通常、播種から収穫までの間、被覆したままであるが、被覆方法（時間帯）を変えることも資材の選定以上に効果がえられるものと考え、実験を試みた（第2章第2節）。③マルチ栽培においてはフィルムに植穴があげられ、一種の有孔状態のフィルムとして使用しているので、無孔の場合との比較を明らかにした（第2章第3節）。

④マルチ栽培での植被の繁茂に伴う植被の地温に対する効果、マルチ自体の効果並びに両者による複合効果について植被模型と実際の植被を用いて調べた（第3章第1・2節）。⑤トンネル、ハウスなどの施設におけるマルチの影響について調べた（第4章第1・2節）。

⑥最後にこれらのマルチによる地温効果は、マルチを行う土の土性によって異なるので^{2,13}、畑地とは大分異なる砂丘地において、それぞれの効果をみた（第5章）。

本研究を遂行するにあたっては、故香川大学農学部教授上原勝樹博士からは本研究の課題を与えていただくと共に、当初の研究を実施する上で終始懇切な御指導、御鞭撻をいただいた。元香川大学農学部教授宮本硬一博士からは本研究を実施する上で多くの御指導と御激励をいただいた。さらに、実験実施に際しては、香川大学農学部助手松村伸二氏及び香川大学農学部農業環境学研究室専攻生諸氏には多大の御協力をいただいた。

本論文をまとめるにあたっては、北海道大学農学部教授堂腰 純博士からは貴重な御助言と適切な御指導、御校閲をしていただいた。北海道大学農学部教授後藤寛治博士からは有益な御助言と御校閲をしていただいた。北海道農学部助教授堀口郁夫博士からは草稿の過程より多大の御指導と御校閲をしていただいた。また、北海道大学農学部農業物理学講座の諸氏からはあたたかい御激励と御協力をいただいた。

ここに、以上の各位に対して厚く感謝の意を表する次第である。

なお、本論文は北海道大学審査学位論文を印刷に付したものである。

第1章 マルチによる栽培例

栽培現場における地温の変化は、種子の発芽、その後における生育、成熟、収量、品質は勿論のこと^{4,46)}、病害の発生、土壤微生物の活動などにも大きな影響を与える^{32,33)}。さらに、生育を気象要因との関連でみる場合、気温をその代表的因子とする場合が多いが、気温条件がある限度内で不良であっても、地温が十分であれば生育には支障とはならず、地温が作物の生育に関与する度合は大きいことが従来より指摘されている^{1,62)}。ここでは、フィルムマルチにより地温を調節して、作物の生育に及ぼす影響についてみる。

第1節 マルチと大豆の生育

フィルムマルチ資材の種類及びマルチの方法が、大豆作物にどのような影響をもたらすかについて、主として地温の面から検討した。なお、大豆は地下部に根粒を着生し、それが温度条件と関連深く、後の収穫量として現れる特性があるので、供試作物とした。

1. 実験方法

大豆は“早生みどり”を使用し、香川大学農学部構内圃場（以降、特に明記しない限り同じ場所で実施）において昭和47年5月から8月にかけて実験を行った。

1) 実験区

次に示す5区を設立した。なお、各区の大きさは、畦長9m（東西方向）、畦幅60cm、畦高20cmである。

No. 1: 無マルチ区（裸地、対照区）

No. 2: アルミ区（0.02mm厚のアルミ箔を被覆）

No. 3: 黒色ビニール区（0.01mm厚の黒色ビニールフィルムを被覆）

No. 4: 夜間断熱区（18mm厚の白色発泡スチロール板で夜間の18時より翌朝6時まで被覆）

No. 5: 断熱区（No. 4と同じ資材で一日中被覆）

以上のようにマルチ資材の主たる特性としてアルベドの高低と断熱性をとりあげ、さらにマルチのかけはずしによるマルチ方法の違いも加えて、それぞれのマルチ処理を行って比較した。

2) 栽培条件

播種（株間20cm、条間30cm）は5月7日に行った。なお、種子の発芽には地温と土壤水分が大きく関連する。ここでは地温の影響をみることから、播種前に種子を一夜水に漬浸し、水分による条件は各区ともなるべく同一になるようにした。種子は各区とも184粒とした。

生育期間中、播種直後と40日目の6月15日、及び収穫時の8月11日において、計3回の生育調査を行った。期間中、各区ともに無肥料で栽培し、管理に当たっては各区とも同一条件になるようにした。

3) 地温測定

地温の測定は、各区の中央部の株間において、地下2cmを測定した。測定には径0.5cmのCu-Co熱電対を使用し、栽培期間中、自動平衡記録計にて自記させた。また、地温を測定した各深さから土壤を採取し、熱乾法によって含水率を測定した。

2. 実験結果と考察

1) 生育・収量と地温との関係

(1) 発芽

発芽の開始は各区ともに5月10日で、その数はNo.1からNo.5までそれぞれ1, 15, 25, 12, 8個体であった。その後、5月15日までの発芽率はNo.1からNo.5までそれぞれ56.5, 33.5, 50.0, 53.5, 29.0%で、最も多いのは無マルチ区 (No.1) となり、断熱区 (No.5) は最も少なかった。発芽率が50%以上を示したのは、多い順に無マルチ区 (No.1)、夜間断熱区 (No.4)、黒色マルチ区 (No.3) であった。なお、それらの区ではいずれも発芽日頃の地温日較差がアルミ区 (No.2)、断熱区 (No.5) に比べて大きく、最高地温も高かった。

すなわち、播種日の5月7日における日変化についてみる (図1-1)。昼間の地下2cmの地温はNo.3の黒色ビニール区が最も高く、ついで夜間断熱区 (No.4)、無マルチ区 (No.1)、No.2のアルミ区の

順で、No.5の断熱区は最も低く、最高温度はそれぞれ37.3, 34.3, 30.9, 28.1, 20.8°Cであった。断熱区が日中において最も低温を示したのは、発泡スチロール板による顕著な断熱作用によるものである。

夜間における変化はNo.1の無マルチ区が18-20時ごろを除いて最も低温となり、最低地温は10.9°Cであった。また、No.4の夜間断熱区が夜間に最も高温を示している。

したがって、日較差は黒色ビニール区が最も大きく、ついで無マルチ区、夜間断熱区、アルミ区の順で断熱区が最も小さかった。

また発芽率の悪い断熱区においては、全区を通じて日較差は小さく、最高及び平均地温も最低を示していた。従って、大豆種子の発芽には、地温日較差の大小、地温の高低が密接に関係しているものと思われる。

(2) 根粒の着生

大豆は一般に発芽後2~3週間目になると根に根粒がみられるようになる⁹²⁾。播種後約40日目の6月15日に各区における根粒重の調査を行った。(表1-1)。

表1-1 大豆の根粒重 (g)

	無マルチ区	アルミ区	黒色ビニール区	夜間断熱区	断熱区
生重	3.0	3.0	0.8	2.2	3.6
乾物重	0.7	0.9	0.3	0.9	1.3

注) 5株の総重量

これによると、根粒の生重は断熱区においては3.6gで最も多く、黒色ビニール区は0.8gで最も少なかった。これらを無マルチ区と比べると、断熱区ではその1.2倍、黒色ビニール区では約0.3倍であり、乾物重の場合も同じ傾向であった。

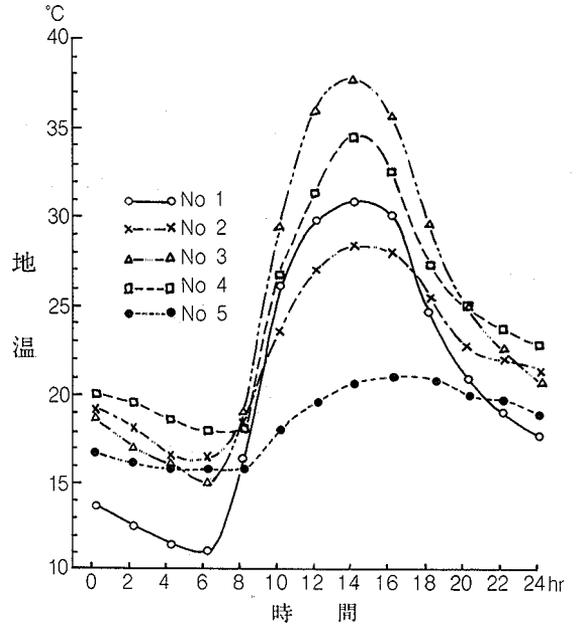


図1-1 各マルチ区における地温 (地下2cm) の日変化 (1972年5月7日)。No.1: 無マルチ区, No.2: アルミ区, No.3: 黒色ビニール区, No.4: 夜間断熱区, No.5: 断熱区。

根粒は地温が18~33°Cの広い範囲にわたってすぐれ、特に24°Cの時に最高を示すことが報告されているが²⁹⁾、5月における半旬平均最高地温(表1-2)は期間中、根粒の少ない黒色ビニール区では約28~32°Cを示すのに対して、一方、根粒が最も多い断熱区では約20~22°Cで経過して両区の間には約8~10°Cの差がある。また、半旬の平均地温においても両区間には3~4°Cの差がみられた。さらに、表1-2の最高地温、最低地温から較差を算出しても、両区の差が約10°Cの日が多い。このことから、根粒は最高地温があまり高くなく、日較差が小さい場合においてその発達が促されたものと思われる。

表1-2 大豆畑における半旬別平均最高・最低地温(°C, 地下2cm, 1972年5月)

	無マルチ区		アルミ区		黒色ビニール区		夜間断熱区		断熱区	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
第2半旬	23.6	14.8	23.2	18.0	27.6	17.3	25.0	18.9	20.3	17.4
第3半旬	27.1	16.4	26.1	19.3	31.7	18.6	27.8	19.4	21.5	18.0
第4半旬	26.0	13.5	25.4	17.6	29.9	16.6	28.0	17.9	20.7	17.3
第5半旬	28.0	13.6	26.8	17.5	31.1	17.6	29.5	18.6	22.0	18.3
第6半旬	26.4	16.9	26.4	20.0	28.8	19.4	28.1	20.1	21.7	19.3

(3) 収量

8月11日の収穫時に行った収量調査の結果は表1-3のごとくであった。表についてみると、莢数・粒数は夜間断熱区、断熱区が他のマルチ区に比べて12~30%多く、無マルチ区はその次に位置している。

表1-3 大豆の収量調査結果(1972年8月11日)

	無マルチ区	アルミ区	黒色ビニール区	夜間断熱区	断熱区
一株莢数(個/株)	35.7	32.9	31.5	37.1	39.3
一株粒数(個/株)	64.4	60.9	52.6	68.3	65.3
莢重(g/株)	8.7	8.4	7.6	8.4	9.1
子実重量(g/株)	15.5	17.4	16.0	18.9	19.9
百粒重(g)	24.0	28.5	30.4	27.6	30.5
根茎重(g/株)	6.0	6.1	6.4	5.3	7.0
粒茎比	2.9	3.1	2.7	3.7	3.3

また、子実重量も無マルチ区よりマルチの断熱区の方が多く(19.9g)、無マルチ区の1.3倍であった。次いで子実重量が多いのは、夜間断熱区(18.9g)で無マルチ区の1.2倍、アルミ区では1.1倍(17.4g)である。しかし黒色ビニール区は16.0gで、無マルチ区とほとんど同じであった。

子実重量が同程度であった無マルチ区と黒色ビニール区では、両区の地温較差は生育のごく初期以降僅か、かつ他の区に比べていずれも大きい値を示していた。それに対して子実重量の最も多い断熱区は、地温較差が小さく経過している。これらのことから、子実重量には地温の較差が大きな影響を及ぼしているものと思われる。

次に百粒重は、黒色ビニール区と断熱区が最高で、無マルチ区が最も小さく、断熱区は無マルチの1.3倍であった。次いでアルミ区、夜間断熱区がともに1.2倍であった。このことから一粒当たりの重量が多く、品質の良いのは、黒色ビニール区と断熱区であるといえる。なお、黒色ビニール区において百粒重が大きかったのは、地温以外の要因(土壤水分など)による影響が大きかったものと考えている。

以上、大豆の生育を発芽から収穫まで各マルチによる地温との関連でみた結果、生育ステージにより最適な地温があることが明らかになった。すなわち、発芽には無マルチ区が、根粒の着生には断熱区が、さらに収穫物で

ある子実重にも断熱区が作り出す地温環境が生育に最適である結果が得られた。

このように、大豆の生育・収量に対する地温の影響は大きく出現しているが、それらの作用機構は複雑である。なお、大豆と温度との関係については、夜温が地上部並びに地下部の発育に及ぼす影響、温度較差と結実との関係などの報告があるが^{10, 71, 92)}、本実験ではそれらの報告と直接対応させることは試験方法・供試品種などの相違により行わなかった。

第2節 マルチと甘藷の生育

甘藷の肥大が地温の勾配により影響を受けるなど、甘藷の生育と地温とは密接な関係がある⁵⁷⁾。また、露地のマルチにおいては、甘藷の栽培が多くみられる²⁰⁾。そこでここでは前節に引き続き、各種のマルチによる栽培を甘藷を用いて行い、地温の面から検討した。

1. 実験方法

1) 実験区

畦長 9 m, 畦幅 0.6 m, 畦高 25 cm の東西畦にはほぼ前節と同じ資材を用いて、次のような実験区を設けて行った。

No. 1: 無マルチ区 (裸地, 対照区)

No. 2: アルミ区 (0.02 mm 厚のアルミ箔を被覆)

No. 3: 黒色ビニール区 (0.01 mm 厚の黒色ビニールフィルムを被覆)

No. 4: 断熱区 (18 mm 厚さの白色発泡スチロール板で一日中被覆)

2) 栽培条件

供試品種としては高系14号を用い、7月29日(1972年)に各区12株ずつを水平植にし、8月9日からマルチを行って11月16日の収穫まで栽培を行った。

また、各区とも、生育期間中無肥料で栽培し、苗が十分活着するまでの間にかん水を各区同量に行った。

なお、生育調査は甘藷の植え付け後の約60日目(の莖葉繁茂及び藷肥大初期にあたる9月28日と、同じく約110日目に当たる収穫期の11月16日の計2回行った。

3) 温度測定

前節の大豆栽培の場合と同様にして、各区中央部の株間において、地下2 cm 及び10 cm の地温を栽培期間中、自記させた。さらに、甘藷の塊根肥大時期に接地気温・地温の多点測定を行った。また、地温の測定と同じ深さから土壌を採取して、熱乾法により土壌の含水率を測定した。

2. 実験結果と考察

1) 生育期間中における接地気温・地温

(1) 地温の半旬別変化

栽培期間中の地下2 cm 及び10 cm の地温について、その半旬値を求めた。なお、アルミ区における地下10 cm の地温は、8月第4半旬から9月第3半旬まで欠測した。

半旬平均地温を示した図1-2についてみると、地下2 cm では各区ともに寒候期になるにつれて次第に地温は低下しており、また区間差も減少している。

すなわち、甘藷の生育初期に当たる8月中には日射も強く、また畦面への日射の透過が良好で、そこが裸地と同じく熱授受の主な作用面となるので、地温に対しては各マルチの特性が顕著に現れ、図にみられるような温度差になったものと考えられる。

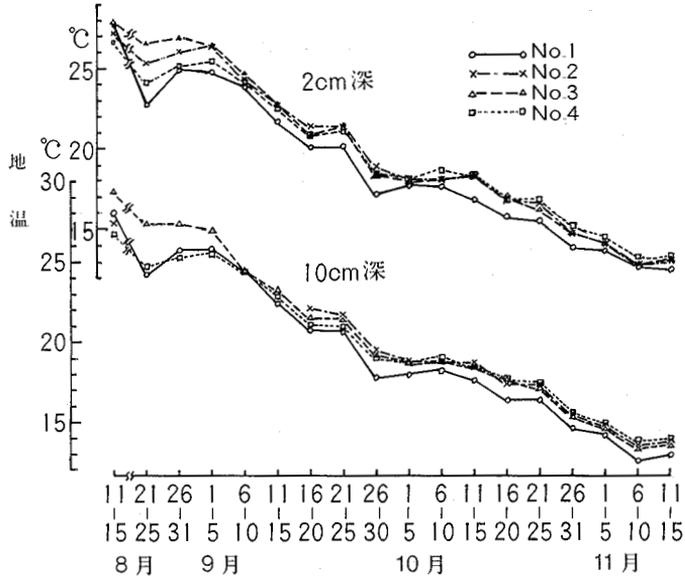


図 1-2 甘藷栽培畑における半旬別平均地温 (1972年)
 No. 1: 無マルチ区, No. 2: アルミ区,
 No. 3: 黒色ビニール区, No. 4: 断熱区。

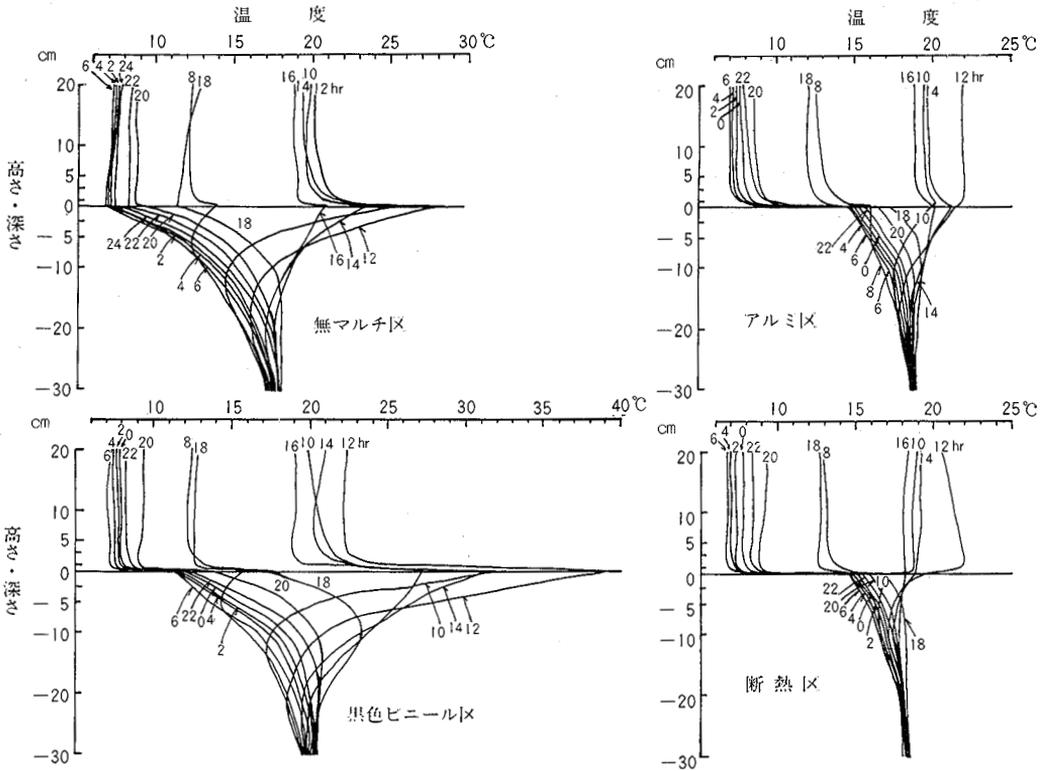


図 1-3 地温の垂直分布 (1972年10月24日)

9月の第2半句以降になると、甘藷の茎葉が次第に繁茂して畦面への日射が遮断され、さらに季節的太陽高度の低下による日射量の減少も手伝って、マルチ資材の相違が地温に及ぼす作用は弱くなり、区間差は小さくなっている。

区ごとにみると、全期間を通じて無マルチ区は他の区に比べて最も低温に経過している。一方、黒色ビニール区は、生育初期には最も高温を示し、それ以降においても高温の傾向にあった。アルミ区と断熱区はそれら黒色ビニール区と無マルチ区の間位置して推移しており、かつ、両区の差は小さいが、植え付け後の9月第2半句まではアルミ区の方が若干高温(0.2~1.0°C)に経過した。

地下10cmにおいては、地下2cmの場合と同傾向は同じであるが、区間差は僅かながら減少し、また全般的に地下2cmより温度は高くなっている。

(2) 接地気温・地温の垂直分布と地温のイソプレート

甘藷の茎葉繁茂・塊根肥大生長期の10月23日~24日において、栽培に使用した同じ資材で処理を行った無栽培畦での接地気温・地温の垂直分布についてみる(図1-3)。

図によると、接地気温は各区ともに夜間から早朝にかけてほぼ等温状の垂直分布を示し、各高さによる温度差はほとんどみられない。日中になるとマルチ表面近くでは昇温し、特に黒色ビニール区が最も顕著で39°Cに達している。しかも、アルベドが小さいためにマルチ資材が日射をよく吸収して高温となり、その熱はそこから直上の空気と、マルチ下地面との空気層を介して直下の地面に伝わっており、この気温の上昇は、後述(第2章第1節)するように、黒色ビニール区の熱収支の特性として、日中の畦面における純放射量の約80%が顕熱伝達として空気中に出ていることからもうかがえる。

次に地温についてみると、各区ともにそれぞれ特性がよく現れている。特に、黒色ビニール区と断熱区とは対照的で、後者は各深さとも14~19°Cの範囲にあって、日較差は小さく、分布曲線は収束しており、アルミ区もそれに近い分布である。

次に10月13日の快晴日に、畦の横断面における地温の多点観測から、6, 10, 14, 18時におけるイソプレートを示したのが図1-4である。図によると、午前6時と10時では日射の受熱で畦表面になるほど高温を示すが、午後放熱が受熱に勝れるようになってくると、昼間とは逆に畦の表面から温度は低下して、18時に顕著にみられるような放熱型の分布になってくる。

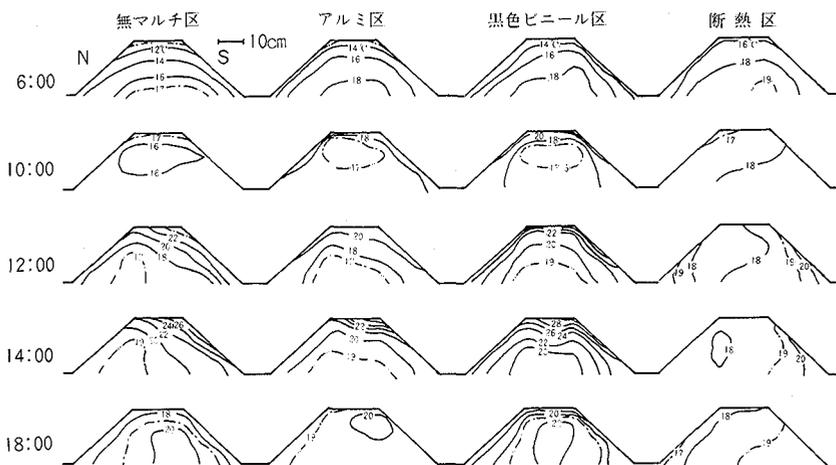


図1-4 地温のイソプレート(1972年10月13日)

一方、温度勾配は日中黒色ビニール区が最も大きくまた高温で、断熱区においては等温線の間隔が疎で温度差が小さく、かつ最も低温を示していることが明確である。アルミ区と無マルチ区はほぼ近似した分布である。

以上のように、アルベドの低い区（黒色ビニール区）ほど日中、地表面を境に気温・地温上昇が盛んで、温度勾配も大きく、断熱材を用いた区（断熱区）とは対照的な変化であった。

2) 生育・収量と地温との関係

マルチ資材により、地温がそこに栽培された甘藷の生育・収量に及ぼす影響について述べる。

なお、各区における土壌水分であるが、甘藷の塊根肥大初期の9月28日に測定した土壌の含水率は、無マルチ区、アルミ区、黒色ビニール区及び断熱区のそれぞれ地下2cmは9.8, 14.9, 11.7, 15.5%, 地下10cmは11.4, 15.9, 13.6, 17.8%で、各区とも地下10cmの含水率は地下2cmのそれよりいずれも大で、またどの深さにおいても全般的にマルチ区の方が無マルチ区より含水率は高かった。さらに各深さとも断熱区の含水率が最大で、無マルチ区は最小となった。

植え付け後60日目（9月28日）に太根⁸⁴⁾の分布の調査を行った。甘藷の根については、その一部分が温度分布において低温部あるいは温度傾度の急変部となることが、その塊根の肥大化をもたらすといわれ、しかもその部位が裸地の場合、地下10cm付近であることが報告されている⁵⁷⁾。それによると、畦面にそって地下10cm付近に太根が分布してもよいのであるが、本調査による限り各区共に明瞭な分布はみられなかった。

次に、植え付け後110日目の11月16日に収穫を行い、その結果を示したのが表1-4である。

表1-4 甘藷の収量調査結果（1972年11月16日）

	無マルチ区	アルミ区	黒色ビニール区	断熱区
総茎長(m/株)	4.2	4.4	7.6	2.6
地上部重(g/株)	336	300	587	150
塊根重(g/株)	159	241	584	98
塊根数(個/株)	4.5	6.0	5.6	2.9
塊根重(g/個)	35	40	104	34
地上部/地下部比	2.1	1.2	1.0	1.5

注) 10株平均

主な項目についてみると、総茎長、地上部重は黒色ビニール区が最も大で、次いで無マルチ区、アルミ区の順で、断熱区は最も小であった。これは従来の報告と同じで、最高地温が高いほど大である¹⁴⁾。すなわち、各マルチ区の8月における最高温度（地下2cm）は黒色ビニール区(33.5°C) > 無マルチ区(32.5°C) > アルミ区(29.6°C) > 断熱区(27.6°C)となっており、この傾向は他の月においても同様であった。

一株当たりの塊根重は黒色ビニール区が584gで最も多く、断熱区は98gと少なかった。

塊根重については塊根は日中、低温部あるいは温度傾度の急変部となる部分に形成され、また、肥大しやすい傾向にあると言われる⁵⁷⁾。前述の地温の垂直分布（図1-3）について地下10cmの日較差を比べると、無マルチ区、アルミ区、黒色ビニール区、断熱区はそれぞれ約6, 3, 8, 2°Cで、黒色ビニール区は無マルチ区の1.3倍及び断熱区の4倍になっている。本実験の場合、黒色ビニール区においては他の区に比べて最もその条件にあっており、その逆が断熱区である。

塊根の数についてはアルミ区と黒色ビニール区が多く、断熱区はそれらの半分であり、地温による差はみられず、従来の報告¹⁴⁾と一致していた。

なお、多収穫を得るためには栽培期間中を通じて地温があまり変化しない畦がよいといわれるが⁴⁷⁾、そのよ

うな温度条件を満たす今回の断熱区ではよい結果が現れなかった。

以上、各マルチ資材によって甘藷の栽培試験を行った。ここでは地温要因に限定して収量をみたが、いずれの生育調査項目も黒色ビニール区が優れていたことから、本実験は従来の黒色マルチによる甘藷栽培の有利性を裏付けたものとなった。

第三節 要 約

マルチの種類とその被覆時間の相違による地温が、大豆と甘藷に及ぼす影響をみた。得られた結果は、下記のごとくである。

A. 大豆栽培の場合

(1) 発芽は無マルチ区 (56.5%)、黒色ビニール区 (53.5%) が多く、断熱区 (29.0%) に少なかった。各区の地温との対比から、発芽には地温日較差が大きく、最高地温が高いほど促進されるものとなった。

(2) 根粒の着生は断熱区が最も多く、黒色ビニール区に少なかった。この結果と各区の地温との関係から、根粒は日最高地温が高くなく、日較差が小さい区にその生育が促されたものと考えられた。

(3) 子実の量は断熱区が最も多く、無マルチ区の約30%増であった。これは断熱区の日較差が最も小さかったことに対応していた。

これらのことから、大豆には生育ステージにより最適な地温があることが明らかになり、すなわち、発芽には無マルチ区が、根粒の着生には断熱区が、さらに子実重にも断熱区が作り出す地温環境が最適である結果となった。

B. 甘藷栽培の場合

甘藷の茎葉は畦面を水平的に伸長するので、マルチの取り外しを行う夜間断熱区は設けなかった。4区の比較から、以下のような結果が得られた。

(1) 栽培期間中、地温の平均温度は裸地の対照区が最も低温で経過した。日最高温度は黒色ビニール区が最も高く、対照区が最も低かった。日較差は対照区に大きく、逆に断熱区に小さく生じた。

(2) 地上部重・総莖長は、黒色ビニール区>無マルチ区>アルミ区>断熱区の順に小さくなり、これは日最高温度に比例していた。

(3) 塊根重は黒色ビニール区に最も多く (584 g/株)、断熱区は少なかった (98 g/株)。

これらのことから甘藷の場合には地温が高く、その較差も大きい黒色ビニール区が収量がよく、従来より盛んな黒色フィルムによるマルチ栽培の有利性を裏付けたものとなった。

以上、各マルチ資材による地温変化が大豆と甘藷の生育並びに収量の差をもたらした。そこで次節では、用いられた各資材による地温・気温変化について、微気象学的に検討を行う。

第2章 フィルムマルチが地温に及ぼす影響

地表面をフィルムで被覆すると、蒸発潜熱を抑制することになり、その結果として地温の上昇がはかられる。地温上昇の程度は、フィルムの種類によって異なる^{97,101)}。ここではマルチ資材の特性を、アルベド、断熱性、及び植穴の有無について分けて検討する。

第1節 フィルムマルチのアルベドの大小と地温

1. マルチ資材の種類と地温

各マルチ資材が地温に及ぼす影響については、古くは Geiger (1965)¹¹⁾ が地表面のアルベドをいろいろ調節してその地温の特性を述べている。しかし、緒言に述べたようにこれに関連した研究は多いが、そのいずれもが各資材によって地表面を処理し、その結果としての地温変化を事例報告的に論じているに過ぎない。僅か、村上が藁マルチで^{49,50)}、また Waggoner (1960)⁹⁷⁾ が各種のプラスチック資材による効果を体系的に述べているのみである。

ここでは、各資材をアルベドによって一元化し、その両極端に位置する黒色ビニールとアルミ箔によるマルチ効果について述べる。

2. 実験観測の設備と測定方法

1) 実験区

香川大学農学部構内圃場において、東西方向に畦長 8.0 m、畦幅 1.3 m、畦高 20 cm の畦を作成して 3 等分し、下記のような実験区を設けた。すなわち、

No. 1: 黒色ビニール区 (0.1 mm 厚の黒色ビニールフィルムで被覆)

No. 2: アルミ区 (0.02 mm 厚のアルミ箔で被覆)

No. 3: 無マルチ区 (裸地の状態, 対照区)

を設けて、各区における熱収支、接地気温・地温、土壌水分含量の測定を行った。

2) 測定項目

①水平面全天日射量と反射日射量 (50 cm 高) は、それぞれ農試電試型日射計 (中野製作所)、②純放射量は純放射計 (英弘精機, CN-6) を、共に 50 cm 高に設置した。③地中伝導熱量は地中熱流板 (英弘精機, CN-8) を畦表面に埋設して数ミリ覆土した。

それらは各区の中央部に取り付けて、自動平衡記録計で記録させた。顕熱伝達量と潜熱伝達量の和は、熱収支式の残余項として算出した。

No. 1 と No. 2 のマルチの 2 区では被覆のために蒸発量は 0 とみなせるので、潜熱伝達量は 0 と考えられた。また、No. 3 の無マルチ区においては、実験区に隣接した露場に設置した拡大自記ライシメータ⁸⁶⁾を用いて顕熱伝達量と潜熱伝達量の分離を行った。

次に各区における接地気温は、それぞれ区の中央部の地上 2.5, 5, 10 cm の高さ、また地温は地表面及び以下 2.5, 5, 10, 20 cm の各深さに熱電対を設置して測定した。熱電対については気温は径 0.1 mm の、地温は 0.5 mm の銅-コンスタンタンを使用した。なお、この他に、マルチ資材表面の温度も 0.1 mm の熱電対で測定した。

また、熱電対を埋設した各深さ付近の土壌含水率は、熱乾法によって求めた。

3. 実験観測の結果と考察

1) 水平面全天日射量と反射日射量

観測当日（3月28日）における日射量・反射量及び各熱収支項の経時変化を図2-1に示した。

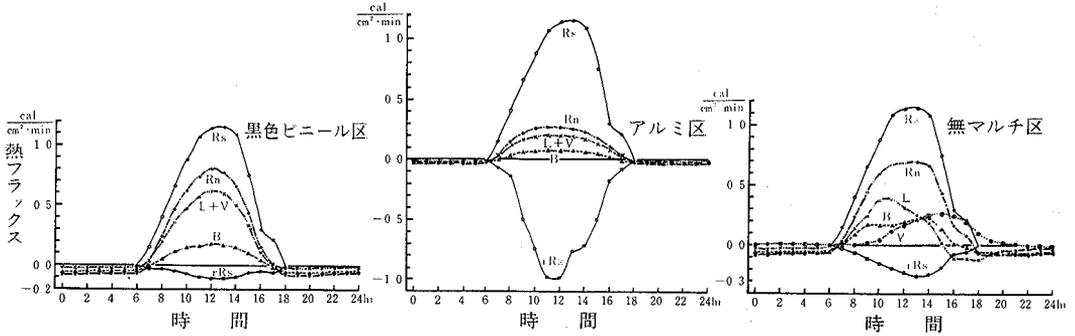


図2-1 熱収支項の日変化(1972年3月28日)。Rs:日射量, rRs:反射日射量, Rn:純放射量, V:潜熱伝達量, L:顕熱伝達量, B:地中伝導熱量。

これによると、この日の日射量の最高値は13時間頃に $1.15 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ を記録した。一方、反射日射量も各区ともに13時頃に最大となり、それぞれ $0.11 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ (黒色ビニール区), $0.77 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ (アルミ区), $0.25 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ (無マルチ区) を示した。

これらの各区における反射日射量と水平面全天日射量の日積算値から求めた日平均のアルベドは、黒色ビニール区; 9.9%, アルミ区; 72.7%, 無マルチ区; 29.7%となり、アルミ区が無マルチ区の2.4倍と最も高く、黒色ビニール区では逆に0.3倍と小さく、両マルチ間に大差があった。

2) 各区における熱収支

各区の畦面における熱収支式は次式で表される^{49,94)}。

$$Rn = B + L + V + B' \tag{2-1}$$

ここで、Rn:純放射量, B:地中伝導熱量, L:顕熱伝達量, V:潜熱伝達量, B':マルチ資材に使われる熱量である。ただし、B'は微少であったので、ここでは無視した。

これら各区における熱収支の経時変化については前述した図2-1に、日積算値については表2-1に示した。

表2-1 熱収支項の日量 (cal cm⁻² day⁻¹)

	黒色ビニール区			アルミ区			無マルチ区			
	Rn	B	L+V	Rn	B	L+V	Rn	B	L	V
+	294.6	66.0	229.2	119.7	29.7	91.2	283.2	84.3	117.9	111.6
-	54.6	42.9	12.3	21.0	14.1	8.1	49.8	45.6	34.8	0.0
Σ	240.0	23.1	216.9	98.7	15.6	83.1	233.4	38.7	83.1	111.6

注) Rn: 純放射量, B: 地中伝導熱量, L: 顕熱伝達量, V: 潜熱伝達量

a. 経時変化

純放射量の経時変化についてみると、各区とも日出の約1時間後に負より正に転じ、その後、日射の強度にはほぼ比例して増加し、日没の約1時間前に負に転じた。昼間の純放射量は黒色ビニール区では、最高値 $0.80 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ を記録して、夜間になると約 $-0.8 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ に一定している。他のアルミ区 (No 2), 無マルチ区 (No 3) でも傾向は同じであるが、昼間の最高値はそれぞれ $0.27, 0.70 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ であった。夜間では

それぞれ黒色ビニール区； $-0.04 \sim -0.08$ ，アルミ区；約 -0.01 ，無マルチ区； $-0.02 \sim -0.06 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ の範囲で経過した。

地中伝導熱量の変化についても傾向としては純放射の場合と同じで，日中，黒色ビニール区，アルミ区，無マルチ区の最高値はそれぞれ 0.18 ， 0.07 ， $0.23 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ となり，無マルチ区は高く，アルミ区で低かった。夜間では黒色ビニール区，無マルチ区が $-0.05 \sim -0.06 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ とほとんど差がないのに対し，アルミ区ではそれらの約 $2/3$ の $-0.02 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ で経過している。

顕・潜熱伝達量の変化については前述のように，No. 1，No. 2 のマルチ 2 区の潜熱伝達量は零と考えられるので，図の変化はほとんど顕熱伝達量のみを経時変化を表しているものと思われる。顕熱の日中における最高値は黒色ビニール区 $0.62 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ，アルミ区 $0.20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ に対し，無マルチ区では $0.39 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ であった。無マルチ区ではさらに潜熱伝達量として， $0.27 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ が記録されている。夜間の顕熱伝達量は，黒色ビニール区； $-0.02 \sim 0.01$ ，アルミ区 $0.00 \sim 0.02$ ，無マルチ区； $-0.08 \sim 0.01 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ で，無マルチ区での潜熱伝達量は $0.00 \sim 0.04 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ の正值であった。

以上，経時変化において，マルチの種類によって明確な差が出現したが，次にこれらを昼夜別にみる。

b. 昼夜別積算値

純放射量について黒色ビニール区をみると，日中（正值）は無マルチ区の 4% 増程度でほとんど無マルチ区と変わらない。これについて畦面のアルベドは，黒色ビニール区の方が低いため，そこでの純放射量の増大が考えられるが，図 2-2 にも示されてあるとおり，フィルム表面の温度が高いため，上向きの放射量が多くなった結果，純放射量としては少なくなったものと考えられる。

一方，アルミ区では，無マルチ区の 58% 減となっており，これには，アルミ箔表面による高いアルベドの影響が大きい。

夜間になると，黒色ビニール区は無マルチ区の 10% 増となっており，アルミ区では同 58% 減と小さく，日中の場合と同じ傾向であった。

したがって，一日間（ Σ ）を通じると，黒色ビニール区は無マルチ区とほとんど同じ（2% 増）であり，一方，アルミ区では無マルチ区の 42% 程度となった。

次に地中伝導熱量について日中では黒色ビニール区は，無マルチ区の 22% 減となっている。これは，黒色ビニールによる吸収熱が，ビニール下の空気層の存在で，地中へ伝導しにくかったためであろう。アルミ区はさらに低く無マルチ区の 65% 減であった。

夜間の黒色ビニール区は，無マルチ区とほとんど変わらないが（6% 減），アルミ区では少なく，それら 2 区の約 70% も少ない。

よって，一日間（ Σ ）を通ると，黒色ビニール区は無マルチ区の 40% 減，マルチ区は同 60% 減となった。

顕・潜熱伝達量を日中についてみると，黒色ビニール区は無マルチ区の 94% 増であり，このアルベドの低いマルチによって顕熱伝達量が増加することについては，3) に後述するように黒色ビニールによる吸収熱と，畦面を被覆することによる蒸発抑制のためと考えられる。一方，アルミ区では無マルチ区の 23% 減である。夜間は被覆の 2 区ともに無マルチ区に比べて伝達量は小さい。

従って一日間（ Σ ）では，黒色ビニール区は無マルチ区の 161% 増となり，アルミ区は無マルチ区と同じ量であった。

潜熱伝達量については，無マルチ区のみがその対象となるが，日中は，同区の顕熱伝達量とほぼ等しい量がみられた。

最後に各区ごとの熱収支項の量的割合をみると、黒色ビニール区では純放射量の10%が地中伝導熱量に消費され、残りのほとんど90%が顕熱伝達量に使われている。これは無マルチ区(No. 3)の地中伝導熱量が17%、潜熱伝達量48%、顕熱伝達量36%に比べると、大きな差異があり、これらの傾向は後述(第3章第1節)するアルベドの低い黒色ポリエチレンフィルムによる場合と一致している。アルミ区においては、地中伝導熱量の割合は無マルチ区の場合と変わらず(16%)、顕熱伝達量は84%も占めている。

以上のように、黒色ビニール区ではアルベドが低いために対照区の裸地に比べて日中の純放射量、顕熱伝達量の増加は著しいが、アルミ区では逆にそれらは低かった。地中伝導量については、マルチの2区共に裸地よりも少ない量であった。

3) 各区における接地気温と地温

接地気温・地温の温度分布を、典型的な変化の出現している12時の模様と(図2-2)、1日間のインソプレートについてみる(図2-3)。

a. 12時における分布

12時についてみると、被覆した黒色ビニール区の被覆表面の温度は42.6°Cと最も高いが、その真下の畦土壌表面ではそれより13.3°C低い。そして、すぐ上2.5 cm 気温では被覆表面より14.2°C低いが、黒色ビニール区ではどの高さの気温も他の区に比べて高温で分布している。一方、地温については、深さが増すにつれて低下するが、地下20 cmでは14.2°Cを示しており、これは3区のなかで最も高い。

アルミ区での被覆表面温度は黒色ビニール区よりも約20°Cも低い23.4°Cを示し、その真下の畦土壌表面はそれより5.1°C低く、いずれも3区の中では最も低温である。土中の深さによる地温変化は黒色ビニール区とは異なって少ないが、全体的に低温で経過している。

無マルチ区の畦土壌表面温度では24.6°Cであるが、これはすぐ上2.5 cm 気温より3.5°C高い。また地温は深さが増すにつれて低下するが、20 cm 深においては9.8°Cであった。

このように日中の場合は、日射による受熱があるために、黒色ビニール区のようなアルベドの低いマルチ資材ほどその表面温度が高温となり、それを境として接地気温・地温が上昇する。一方、アルベドの低いアルミ区では、黒色ビニール区とは全く逆の変化を呈した。なお、アルミ区では他の2区とは異なり、アルミ箔表面温度よりも、2.5、5、10 cm の接地気温の方が高くなっているが、これはアルミ箔による日射の反射特性と、熱電対接合部の風化(黒色化)のためである。すなわち、アルミ箔を畦面に被覆した直後は、畦面での反射が正反射面の特性をもち、鏡面での入射角と反射角の法則に従って入射量の大部分が、太陽光とは反対方向の大気中へ反射されるので、気温測定用の熱電対に多量の日射があたる時間は確率上少ない。ところが、アルミ箔を被覆した後に降雨があると無数の凹凸が生じ、一種の乱反射面となる。そのために、太陽光の多量にわたる反射光の一部は絶えず熱電対に向かうことになり、その結果、他の2区のものより若干高温を示したものと考えられる。

なお、気温測定には、シェルターが不要といわれている細い銅-コンスタンタン線(径0.1 mm)を使用しているが⁵²⁾、その接合部のよごれによる黒色化によって日射の影響も大きいものと考えている。

b. インソプレートによる1日間の分布

接地気温・地温はフィルム面を境として大きく変化することは、前述(a)したとおりであるが、ここでは、1

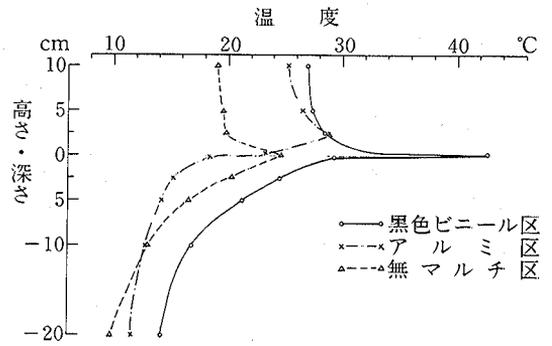


図2-2 気温と地温の垂直分布

日間を対象としたイソプレートによりその様相をみる(図2-3)。

接地気温：黒色ビニール区では地表面より10 cm までの変化は0~6時の間はほとんどなくて2~6°Cで経過している。これは無マルチが2~3°Cであるのに対して若干高温である。しかし、日中の6~18時における気温変化は大きく、特に12~14時で40°Cを超えている部分があり、3区の中で最も高い。18時以降では18°Cから2°Cへと温度は低下するが、高さごとの温度差は、日中に比べて小さくなっている。

一方、アルミ区においては0~6時における温度変化は黒色ビニール区より安定して小さい。6~8時では、日中の高温帯(26°C)が高さ2~8 cm付近にあるが、これは前述(a)したように、アルミ箔の高いアルベドによるものである。18時以降の変化は黒色ビニール区にほぼ準じている。

無マルチ区でも0~6時の間は、マルチの2区と同様に温度変化は小さい。日中の温度変化は、黒色ビニール区と同じような様相であるが、イソプレートの最高値はそれほど高くはなく24°Cである。18時以降は14°Cから6°Cへと徐々に気温は低下するが、地表面付近の温度変化は、マルチの2区と同様に小さい。

地温：黒色ビニール区における1日間のイソプレートは、全体的に2組の曲線群よりなっている。

すなわち、黒色ビニール区の午前中は、地表面付近(約10°C)で低く、地下部(20 cm)では高くなって(約14°C)、受熱型分布の曲線群を呈している。午後になると、14時の地表面付近で30°Cを越えているが、地中深くになるほど地温は下がり、その傾向は夜中まで続いている。

アルミ区でも全体的な傾向は黒色ビニール区と同じであるが、温度勾配はかなり小さく出現している。無マルチにおいても、マルチをした2区と同じ傾向であるが、全体的な地温の高さと温度勾配の様相は、いずれも両マルチ2区のほぼ中間にあると言える。

以上のように、黒色ビニール区ではその低いアルベドにより、フィルムを境に接地気温・地温は高く、昼間の変動幅は大きい。アルベドの低いアルミ区では地温は低く、変動幅は小さく、黒色ビニール区と逆の傾向となった。このように、マルチをした畦の地温は、マルチ資材のアルベドの大小が、接地気温・地温要因を大きく決定づけるものとなった。

4) 各区における地温の解析

a. 調和分析

地面や地中の温度の日変化、年変化のような周期的変化は、一般に正弦曲線と仮定して、次のようなフーリエ

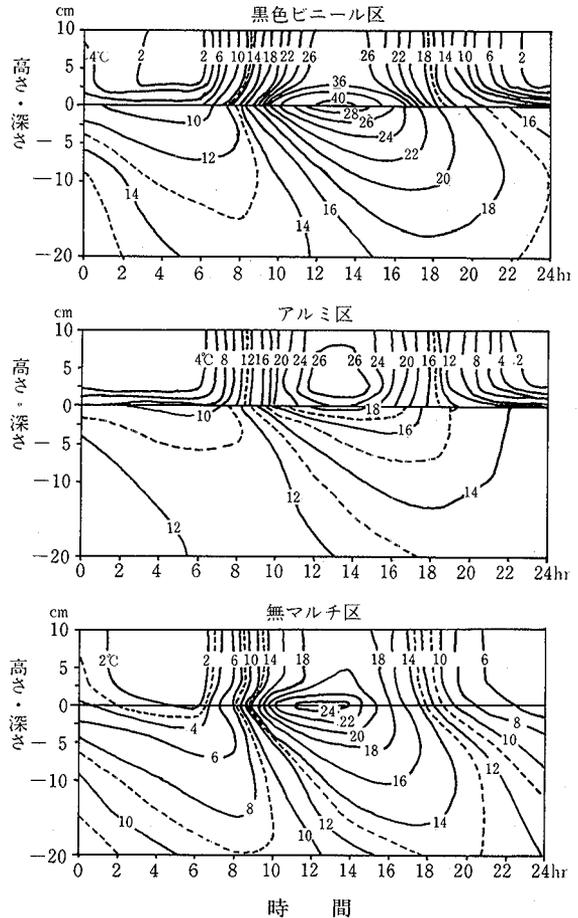


図2-3 気温と地温のイソプレート

級数で表すことができる^{35,87)}。

$$y = a_0 + a_1 \sin(2\pi t/T + \epsilon_1) + a_2 \sin(4\pi t/T + \epsilon_2) + a_3 \sin(6\pi t/T + \epsilon_3) + \dots \quad (2-2)$$

ただし、 a_0 は測定値の平均値で、 $a_1, a_2, a_3, \dots, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots$ はそれぞれ 1 日、1/2 日、1/3 日、 \dots 周期波の振幅及び位相である。実際には上式の初めの 4 項ほどで日変化の状態はほぼ完全に示される。そこで、観測当日の各区における地表面、地下 2.5、5、10、20 cm の各深さの地温を調和分析し、その 1 日項 $a_1 \sin(2\pi t/T + \epsilon_1)$ の振幅 a_1 と位相角 ϵ_1 を示すと、表 2-2 のごとくになる。

表 2-2 各区における地温の調和分析結果

	黒色ビニール区			アルミ区			無マルチ区		
	a_0	a_1	ϵ_1	a_0	a_1	ϵ_1	a_0	a_1	ϵ_1
0 cm	17.9	10.1	235 13	13.9	4.5	227 14	11.4	11.2	247 02
2.5	17.2	7.8	221 01	13.3	3.1	207 08	11.3	8.4	231 04
5	17.0	6.3	209 34	13.1	2.5	196 24	11.4	6.4	215 08
10	16.2	4.0	186 51	12.8	1.7	177 32	11.3	4.4	194 04
20	15.3	2.1	156 45	12.3	0.8	143 53	11.1	2.0	150 42

注) a_0 : 平均値(°C), a_1 : 1 日頃(°C), ϵ_1 : 位相角(度)

平均値 (a_0) についてみると、黒色ビニール区では地表面より地下 20 cm までの地温は平均 16.7°C であり、アルミ区、無マルチ区よりそれぞれ 3.6°C、5.4°C ほど高温であった。なお、無マルチ区では、各深さごとの温度差は小さかった。

振幅 (a_1) では、いずれの区も地表面に最大で、地中の深さが増すにつれて減少している。さらに黒色ビニール区では無マルチの 94% (各深さ平均)、アルミ区では同 39% と、地表面以下の各深さにおいては、マルチの 2 区は無マルチ区より小さい傾向にあった。

また、位相角 (ϵ_1) はいずれの区も地表面に最も早く、地中深くになるにつれて遅れる傾向にあった。これらの位相角から最高温度の発現時刻を求め、各区の振幅とあわせて示したのが図 2-4 である。

図によると、各深さでの最高温度が発現する時刻は 20 cm 深以外は無マルチ区が最も早く、アルミ区が遅く生じた。地表面と比較すると無マルチ区は黒色ビニール区より約 50 分早く最高温度に到達するが、アルミ区では黒色ビニール区よりさらに約 35 分遅くなる。

b. 地温の深さと振幅との関係

地温日変化の振幅は、前述のように深さが増すに従って小さくなる。その変化は土壤が均質であるとする、深さと振幅との関係は指数関数で表すことができる。すなわち、地表面における地温変化の振幅を a_0 、 z cm の深さにおける振幅

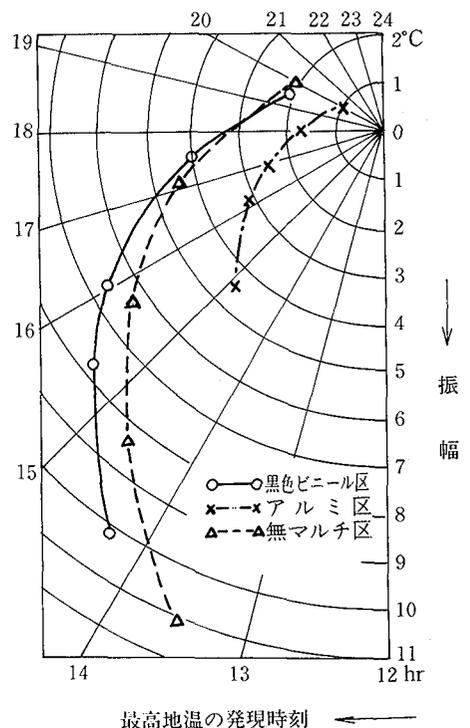


図 2-4 最高地温の発現時刻と振幅との関係

を a_z とすると、深さと振幅との関係は

$$a_z = a_0 e^{-hz} \tag{2-3}$$

である。h は振幅の減少係数である。

(2-2) 式の調和分析による結果と (2-3) 式から、振幅の減少係数を求め、各区における地温の深さと振幅との関係式を求めると下記のごとくになった。

黒色ビニール区 $a_z = 20.2e^{-0.0990z}$ (2-4)

アルミ区 $a_z = 9.1e^{-0.1143z}$ (2-5)

無マルチ区 $a_z = 22.4e^{-0.1013z}$ (2-6)

これによると、減少係数はアルミ区に最も大きく、そこでは地表面から地中深くになるにしたがって温度較差が小さくなる程度が最も大きいことになる。一方、黒色ビニール区は小さい係数を示し、これは、表 2-3 に示した土壌含水率によって影響を受けており、黒色ビニール区では地表面より地下 20 cm までの水分は 3 区の中で最も多く、したがって、黒色ビニール区での地表より地下部への熱伝導がよくなり、その結果、減少係数は小さくなったことが示されている。

表2-3 土壌含水率 (%)

	黒色ビニール区	アルミ区	無マルチ区
0 cm	16.6	15.2	11.0
2.5	17.2	18.0	15.2
5	21.3	17.6	16.0
10	22.0	20.5	19.8
20	19.8	19.4	21.7

c. 地温日変化の不易層

地温日変化の振幅は、前述のように地中深くなるに従って減少する。しかし、ある深さになると零となり、日変化はみられなくなる。この深さを不易層というが、地温の振幅が 0.1°C に減少する地層では、事実上、日変化していないと考え、その深さを H とすると (2-3) 式より、

$$0.1 = a_0 e^{-hH} \tag{2-7}$$

となり、不易層 H の深さが求まる。前述より a_0 と h の値を代入すると、黒色ビニール区 ; 53.6 cm, アルミ区 ; 39.5 cm, 無マルチ区 ; 53.4 cm であった。振幅の減少係数が大きい値を示したアルミ区が浅く、黒色ビニール区、無マルチ区ではほぼ同じであった。

d. 地中熱拡散率

地中の熱拡散率は、地中における熱伝導の微分方程式を解いて得られた理論式

$$h = \pi / kT \tag{2-8}$$

すなわち、

$$k = \pi / h^2 T \tag{2-9}$$

から求められる⁸³⁾。なお、K は熱拡散率、T は周期、h は振幅の減少係数である。

(2-9) 式より各区での地中熱拡散率を求めると、黒色ビニール区 : $3.71 (\times 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1})$, アルミ区 : $2.78 (\times 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1})$, 無マルチ区 : $3.54 (\times 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1})$ であり、拡散率は地中水分の高い黒色ビニール区で最も大きかった。

e. 地中における熱量の日変化

地温は日中、日射受熱により昇温し、熱は地中内部へも伝導するが、夜間は地中内部より地面へ熱が移動し、地面より放熱して冷却する。従って、土壌中に含まれている熱量は1日を周期として変化する。

いま、土壌中に単位面積の底を有し、地温日変化の消失する層までの、深さHの垂直土壌柱のある部分に、dhなる微小柱を考え、 t_1 、 t_2 時におけるその温度を θ_1 、 θ_2 とし、単位容積の土壌の熱容量をC、 t_1 、 t_2 時における土壌柱の熱量を u_1 、 u_2 とすれば、両時刻間における熱量変化は

$$u_2 - u_1 = \int_0^H C(\theta_2 - \theta_1)dh \tag{2-10}$$

である^{87,99)}。もし、Cが深さに関して一定であるとすれば

$$\begin{aligned} u_2 - u_1 &= C \int_0^H (\theta_2 - \theta_1)dh \\ &= CH \left\{ \int_0^H \theta_2 dh / H - \int_0^H \theta_1 dh / H \right\} \\ &= CH(\theta_2 - \theta_1) \end{aligned} \tag{2-11}$$

ここに

$$\theta_2 = \int_0^H \theta_2 dh / H, \quad \theta_1 = \int_0^H \theta_1 dh / H$$

で、 θ_1 、 θ_2 はそれぞれ t_1 、 t_2 時における土壌柱全体の平均温度である。

この式を用いて、各区における地中熱量の日平均からの偏差を求め表2-4に示した。ただし、Cは熱量の概略を知るために0.5 calとし、平均温度には地下20 cmまで深さ2.5 cm毎の平均値を用いて計算した。

表2-4 土壌熱交換量の日変化 (偏差値, cal cm⁻²)

	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22hr
黒色ビニール区	-22	-32	-38	-43	-37	-8	25	42	45	34	20	8
アルミ区	-8	-12	-15	-18	-17	-6	7	14	17	15	11	8
無マルチ区	-20	-30	-39	-46	-39	6	33	48	46	31	11	-4

表によると、黒色ビニール区とアルミ区では共に16時に地中熱量の最大値が出現し、最小値はいずれの区においても6時であったことから、最大・最小の出現にはアルベドの大小は無関係のようである。しかし、熱量の日較差を求めると、黒色ビニール区: 88 cal cm⁻²、アルミ区: 35 cal cm⁻²、無マルチ区: 94 cal cm⁻²となり、マルチの区では、アルベドと日較差の大きさは比例している。

このように地温の調和分析によると、マルチ区では裸区に比べて地温変化が緩慢となることが現れており、特に黒色ビニール区はアルミ区に比べて振幅は大きい、そこでの減少係数は小さいこと、不易層の深いこと、地中熱拡散率と熱量の変化は大きいことが明らかになった。

第2節 マルチ被覆の方法と地温

マルチ栽培の大多数は、畦面を資材で終日被覆している。しかし、被覆を時間的に限定することで、終日の場合よりも、さらにマルチによる効果が期待できる場合もある。ここでは、マルチ被覆の方法を時間的に変え、そこでの地温特性をみる。

1. 被覆時間と地温

マルチによる効果を地温からみると、前述（第1節）において明らかにしたように、その効果の程度は、1日において時間的に異なっている。すなわち、黒色ビニール区の地温は、日中と夜間共に無マルチ区より高いが、アルミ区では日中は低く、夜間は高い。したがって、季節によってマルチ被覆を昼間、または夜間に限定することによって、マルチ効果が一層得られるものと考えられる。マルチの被覆期間として冬季から春季では、日中に受熱を促進し、夜間は放熱を抑制することができれば、温度確保の面から好ましいと考えられる。これに関して大後・丸山（1952）⁶⁾は、夜間のみ敷藁マルチを行った結果、終日にマルチをしたままのものより、最大5.8°C（地表面）の高温が得られたとしている。

この節では、藁よりも断熱と保温に優れており、しかも、被覆処理の行いやすいスチロール板を用いて、そのマルチ被覆時間を限定することによる地温効果について検討する。

2. 実験観測の設備と測定方法

畦長8.0m、畦幅1.3m、畦高20cmの広畦を東西方向に作成し、3等分して下記のように実験区を設定した。

No 1: 断熱区（白色発泡スチロール板を

1日中被覆）

No 2: 夜間断熱区（No 1と同じ資材で18時より翌朝6時まで被覆）

No 3: 無マルチ区（裸地、対照区）

各測定方法は前節の場合に準じているが、温度については各区の中央部の地上10, 5, 2.5cmの接地気温、マルチ表面の温度、地表面、及び地下2.5, 5, 10, 20cmを測定した。

3. 実験結果と考察

1) 水平面全天日射量と反射日射量

観測当日は快晴で、日照時間と日射量はそれぞれ9.5時間、 $487.2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった。水平面日射量と各区における反射日射量の測定値から求めた日平均アルベドは、断熱区55.9%、夜間断熱区22.6%、無マルチ区16.5%であり、断熱区では、無マルチの約3.4倍にも達した。なお、夜間断熱区では昼間の日射による受熱を促すため、日中被覆を取り除いたことになり、アルベドは無マルチ区とほぼ同じだった。

日射量と反射日射量の経時変化を、後述する熱収支各項のものと共に図2-5に示したが、日射量の変化は日の出より増加しつづけ、12時頃に最大値（ $1.18 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ）となり、それから日没時になるにつれて減少をたどる典型的な快晴日の様相を呈した。各区における反射日

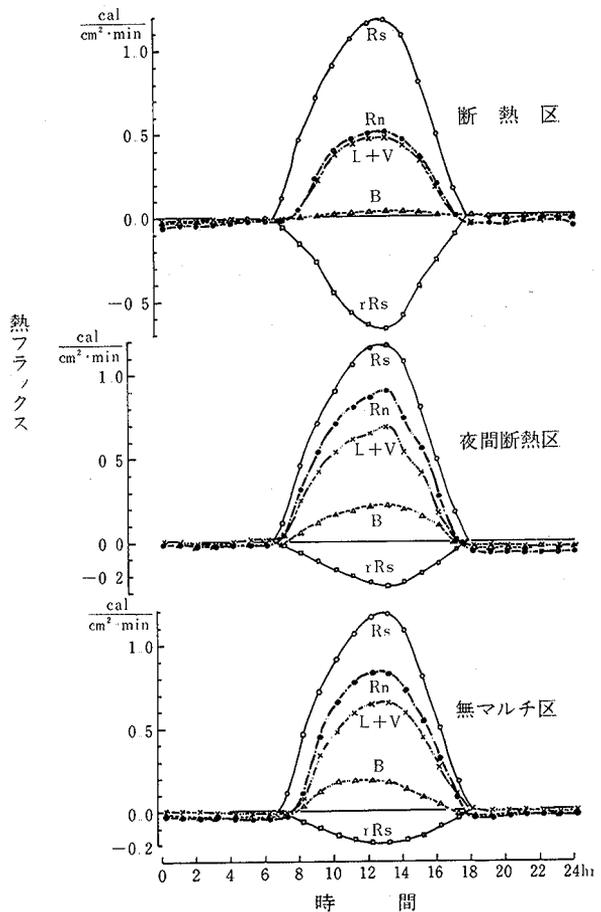


図2-5 熱収支項の日変化（1972年3月2日）。Rs: 日射量, rRs: 反射日射量, Rn: 純放射量, V: 潜熱伝達量, L: 顕熱伝達量, B: 地中伝導熱量。

射量についても同様な傾向であり、最大値は断熱区：0.66，夜間断熱区：0.26，無マルチ区：0.20 cal cm⁻² min⁻¹であった。

2) 各区における熱収支

まず、断熱区、夜間断熱区において、マルチ資材として用いた発泡スチロール板に消費される熱量についてみる。すなわち、マルチ資材表面と地表面との平均値を発泡スチロール板の温度とした場合、板の比熱 C：0.32 cal g⁻¹°C⁻¹，密度 ρ：0.0158 g cm⁻³であるから熱容量 Cρ は 0.32×0.0158 cal cm⁻³°C⁻¹となる³⁰⁾。真夏における板の温度変化は最大 4.5°Cであった⁸⁹⁾。従って、この場合、被覆板 1 cm 当たりの温度変化に使われる熱量 B は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 B &= 1.8 \text{ cm} \times 0.005 \text{ cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 4.5 \text{ } ^\circ\text{C h}^{-1} \\
 &= 6.75 \times 10 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}
 \end{aligned}
 \tag{2-12}$$

よって、他の熱収支項に比べて板による熱量は無視できるものとした。また、潜・顕熱伝達量の和は収支項の残余として求め、それらの分離は行わなかった。各熱収支項の日量は表 2-5 に示した。

表 2-5 熱収支項の日量 (cal cm⁻² day⁻¹)

	断熱区			夜間断熱区			無マルチ区		
	Rn	B	L+V	Rn	B	L+V	Rn	B	L+V
+	192.0	10.8	181.5	347.7	86.1	263.4	312.6	65.1	249.3
-	28.8	7.8	21.3	30.0	19.8	12.0	31.2	28.5	4.5
Σ	163.2	3.0	160.2	317.7	66.3	251.4	281.4	36.6	244.8

a. 純放射量

日中（正值）の断熱区では、アルベドが高いために純放射量は小さく、無マルチ区の裸地の61.4%である。一方、夜間断熱区では、日中はマルチがなくて裸地状態であるので、純放射量は無マルチ区より11.2%大きいだけである。この無マルチ区と夜間断熱区との差異は、夜間断熱区の畦表面は夜間被覆されて、いわゆる湿潤状態であるので、早朝にマルチが外されても日中は無マルチ区ほど乾燥しないため、前述したようにアルベドが若干低くなったことによるものであろう。

なお、これら日中における日射量 (R_s) と純放射量 (R_n) の関係は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{断熱区} &: R_n = 0.56 \cdot R_s - 0.13 \quad (r = 0.93^{**}) \\
 \text{夜間断熱区} &: R_n = 0.85 \cdot R_s - 0.10 \quad (r = 0.98^{**}) \\
 \text{無マルチ区} &: R_n = 0.80 \cdot R_s - 0.12 \quad (r = 0.96^{**})
 \end{aligned}
 \tag{2-13}$$

ただし、** は 1% 水準で有意であることを示す。

このように、日射の変化係数は断熱区が最も小さく無マルチ区の70.0%である。また、夜間断熱区は106%である。アルベドが低く、すなわち、日射の吸収が高い区ほど日射に対する変化係数は大きかった。

次に、夜間（負値）の純放射量についてみると、マルチの有無には関係はなく 3 区共に 30 cal cm⁻² min⁻¹ 程度となり、この傾向については同じ断熱材を用いて行った夏季の結果と同様であった⁸⁹⁾。

よって、1 日の合計では、昼間の純放射に大きく影響され、断熱区は無マルチ区の58.0%で、夜間断熱区は113%であった。

b. 地中伝導熱量

昼間についてみると、断熱区では断熱材による影響を受けて 10.8 cal cm⁻² min⁻¹ と少なく、これは無マルチ区

の16.6%に過ぎない。これに対して夜間断熱区は無マルチ区の132%となり、断熱区とは対照的である。

夜間になって断熱区は最も小さく、無マルチ区の27.3%に抑制され、夜間断熱区では69.5%と小さい。

従って、1日を通じると、断熱区、夜間断熱区はそれぞれ無マルチ区の8.2%,181%となり、断熱材による被覆が地中伝導熱量に大きく影響することが明らかとなった。

c. 顕・潜熱伝達量

日中、断熱区では純放射量が少ないこともあって、顕・潜熱伝達量は無マルチ区の72.8%に相当している。なお、断熱区では1日中マルチを行っており、潜熱伝達量はほぼ0とみなされるので、上記の値は顕熱伝達量と考えてよい。

夜間断熱区では純放射量も低く、日中はマルチがないので顕・潜熱伝達量は無マルチ区の106%増である。

一方、夜間になると日中とは様相が異なり、断熱区>夜間断熱区>無マルチ区となり、マルチ区の方が無マルチ区より大きい。

以上の各熱収支項の純放射量に対する割合をみると、いずれも、マルチ処理による特徴が現れている。すなわち、断熱区では純放射量のうち地中伝導熱量の占める量は無視できるほど小さく(2%)、顕・潜熱伝達量が大部分である。夜間断熱区では地中伝導熱量の割合は純放射量の21%もあり、これは無マルチ区の13%より大きくなっている。マルチの夜間被覆の効果が現れている。

このように、断熱材のマルチによって日中の純放射量、地中伝導熱量は大きく抑制されるが、夜間のマルチでは逆に無マルチ区におけるよりも大きくなった。

3) 各区における接地気温と地温

(1) 接地気温・地温の日変化

接地気温・地温における各高さ毎の垂直温度分布について、図2-6に表した。

a. 気温

接地気温について断熱区をみると、早朝の気温の低下は無マルチ区の裸地よりも著しく、しかもそれはマルチ表面に近くなるほど顕著となり、6時には -7.1°C であった(無マルチ区同 -2.1°C)。一方、日中、太陽高度が高くなるに従い、各高さの気温は共に高くなるが、早朝の場合とは異なってマルチ表面は最も高温となり、14時には 15.2°C を記録した(無マルチ区 14.9°C)。

夜間断熱区では、早朝の気温の低下は断熱区の場合とはほぼ同じであるが(-6.8°C)、日中は裸地状態であるので無マルチ区とほぼ同じ温度(同 15.2°C)を示した。

以上、気温の日変化を昼夜別平均・日平均・日較差に換算して、後述する地温とともに表2-6に示した。なお、昼夜別平均温度とは、日の出より日没までの時間帯を、夜間平均温度とはそれ以外のもの

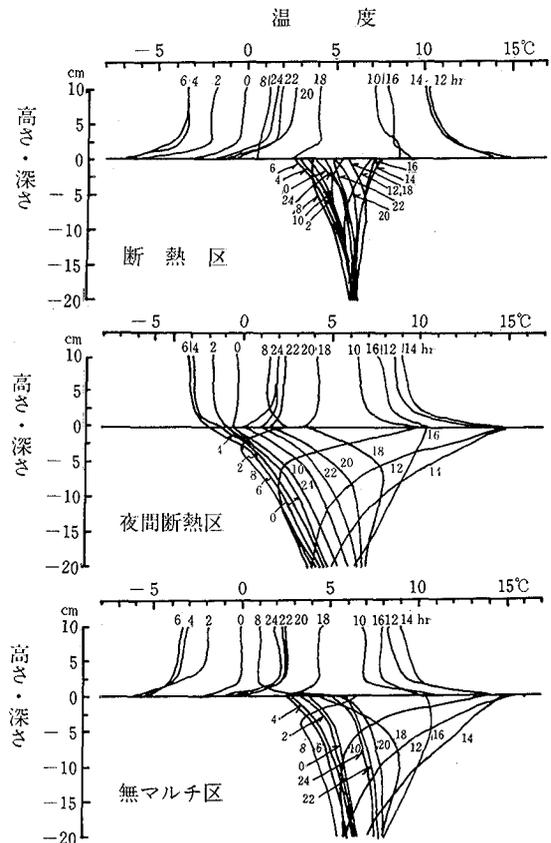


図2-6 気温と地温の垂直分布

を示している。

表 2-6 接地気温地温の昼間平均・夜間平均・日平均・日較差 (°C)

	断熱区				夜間断熱区				無マルチ区			
	昼間	夜間	平均	較差	昼間	夜間	平均	較差	昼間	夜間	平均	較差
10 cm	6.9	-0.8	3.1	13.7	6.3	-0.6	2.9	12.2	6.2	-0.7	2.8	12.2
5	7.1	-0.8	3.2	14.2	6.5	-0.7	2.9	13.4	6.5	-0.6	3.0	12.5
2.5	7.4	-1.0	3.2	15.2	6.6	-0.9	2.9	13.8	6.7	-0.5	3.1	12.7
マルチ表面	8.4	-4.9	1.8	23.1	—	-4.4	—	—	—	—	—	—
0	6.1	3.8	5.0	4.9	11.0	4.2	7.6	15.8	9.8	-0.5	4.7	18.1
- 2.5	5.8	4.5	5.2	3.7	9.1	5.2	7.2	11.1	7.5	1.4	4.4	12.9
- 5	5.9	5.1	5.5	2.9	8.7	5.7	7.2	8.6	6.5	2.5	4.5	11.5
-10	5.8	5.7	5.7	1.7	7.8	6.3	7.1	5.6	5.7	3.8	4.7	10.5
-20	6.0	6.1	6.0	0.5	6.9	6.9	6.9	3.0	5.0	5.3	4.2	10.6

昼間平均温度についてみると、前述の垂直温度分布にみられたように各区共に地表面に近い 2.5 cm が高く、3 区の中では断熱区が最も高く、各高さ平均で 7.1°C を示している。一方、夜間断熱区、無マルチ区では共に 6.5°C を示し、両区の温度差はみられなかった。

夜間平均になると昼間平均の場合とは逆で、地表面に近いほど低温を示し、3 区の中では断熱区がもっとも低い (各高さ平均 -0.9°C)。また、夜間に断熱区と同じマルチ処理をした夜間断熱区も低い (同 -0.7°C)、3 区間の差はそれほど大きくはない。

したがって、昼間・夜間の平均、つまり日平均は各区とも、高さごとの差はなく約 3.0°C であるが、若干、断熱区が高い傾向であった。

日較差では、区間差が現れており、各区ともに地表面に向かうほど較差は大きい。各高さの平均は、断熱区：14.4°C、夜間断熱区：13.1°C、無マルチ区：12.5°C であった。

以上のように夜間の接地気温では、終日マルチした断熱区の方が気温低下が著しく、日中は、逆に気温上昇が目立ったが、夜間断熱区は無マルチ区とあまり変わらなかった。

b. 地温

断熱区についてみると、夜間では地表部ほど地温低下が著しく、日中になると逆に高温となり、一日間の変動幅も地表部が最も大となる (10.0°C)。しかし、この断熱区における地温変化は後述 (2) するように、他の 2 区に比べて最も小さい。

一方、日中、マルチの取り外している夜間断熱区でも夜間の傾向は断熱区と同様であるが、日中の昇温は非常に著しく、その様子は図 2-6 の 14 時、16 時の分布にも現れている。

無マルチでも夜間の地温分布は、断熱区、夜間断熱区とほぼ等しい様相であるが、地温はそれらに比べて最も低温に経過している。日中は夜間断熱区と同様に昇温は著しい。

これらの地温の変化を昼夜別、日平均、日較差に算出した前述の表 2-6 によると、夜間では各区ともに地表面が最も低いが、各区の深さ平均でみると夜間断熱区 (5.7°C) > 断熱区 (5.0°C) > 無マルチ区 (2.5°C) となり、夜間断熱区において最も高温で維持されている。

同様に昼間では夜間断熱区 (8.7°C) > 無マルチ区 (6.9°C) > 断熱区 (5.9°C) となり、さらに日平均、日較差においても夜間断熱区が最も高く経過しており、マルチの取り外しによる効果は顕著に出現した。

(2) 各区における地温の解析

a. 地温の調和分析

前節と同様にして、地温の調和分析を行った。その1日項を表2-7に示した。

表2-7 各区における地温の調和分析結果

	断熱区			夜間断熱区			無マルチ区		
	a_0	a_1	ϵ_1	a_0	a_1	ϵ_1	a_0	a_1	ϵ_1
0 cm	5.0	2.2	221 53	7.6	5.6	252 57	4.7	8.3	249 02
2.5	5.2	1.7	205 40	7.2	3.9	228 41	4.4	5.7	229 10
5	5.5	1.3	192 39	7.2	3.4	216 02	4.5	4.5	212 44
10	5.7	0.7	173 54	7.1	2.4	198 04	4.7	3.2	193 23
20	6.0	0.3	134 21	6.9	1.2	165 56	5.2	1.5	156 41

注) a_0 : 平均値(°C), a_1 : 1日項(°C), ϵ_1 : 位相角(度)

表によると振幅(a_1)はいずれも地表面に最も大きく、地中深さとともに減少している。マルチ区の方は無マルチ区より小さく、特に断熱区に最も小さい値を示している。

位相 ϵ_1 は各区共に地表面で最も進み、地中深くなるにつれて遅れており、さらに深さ平均で最も進んでいるのは夜間断熱区で、最も遅れているのは断熱区である。

b. 地温の深さと振幅との関係

各区における地温の深さ(Z)と振幅(a_1)との関係式を求めると、次のごとくである。

$$\begin{aligned}
 \text{断熱区: } a_z &= 16.4e^{-0.1134Z} \\
 \text{夜間断熱区: } a_z &= 11.2e^{-0.1016Z} \\
 \text{無マルチ区: } a_z &= 4.3e^{-0.1056Z}
 \end{aligned}
 \tag{2-14}$$

上記の関係式から、振幅の減少係数は夜間断熱区に最も小さくなっている。

c. 地温日変化の達する深さ

前節と同様にして求めると、断熱区: 35.9 cm, 夜間断熱区: 46.8 cm, 無マルチ区: 45.1 cm となり、夜間断熱区に最も深く、断熱区に最も浅くなった。

d. 地中熱拡散率

各区の地中熱拡散率を前節と同様にして求めると、断熱区: $32.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, 夜間断熱区: $3.52 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, 無マルチ区: $2.83 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ となった。すなわち、地中熱拡散率はマルチ区ではいずれも無マルチ区より大きくなっており、特に夜間断熱区に最も大きく、無マルチ区は小さかった。

e. 地中熱量の日変化

各区の地下20 cm までの熱交換量を、前節の場合と同様にして求めると、表2-8のようになった。

これによると、熱量の最大は夜間断熱区と無マルチ区ではいずれも14時に、断熱区では16時に現れており、ま

表2-8 土壌熱交換量の日変化 (偏差値, cal cm^{-2})

	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22 hr
断熱区	-1	-4	-6	-8	-9	-4	3	9	10	7	4	2
夜間断熱区	-14	-16	-19	-22	-23	-1	20	32	26	9	5	2
無マルチ区	-17	-22	-26	-29	-26	-9	24	41	37	20	6	-1

た最小は夜間断熱区と断熱区は8時に、無マルチ区では6時に現れている。そして、各区の日変化の較差は 19 cal cm^{-2} (断熱区), 55 cal cm^{-2} (夜間断熱区), 70 cal cm^{-2} (無マルチ区)で、マルチ区においては無マルチ区の裸地よりいずれも小さい。また、断熱区は夜間断熱区より小さく、その1/3程度である。これは、明らかに断熱区の断熱材によって、地中熱交換量が大きく抑制されていることを示している。

以上のように各項目の結果より、夜間断熱区では無マルチ区、断熱区と異なって、独特の地温特性があった。

4) 各区における地中含水量

各区における地表面より地下20 cmまでの土壌含水率を表2-9に示す。

表2-9 土壌含水率 (%)

	断熱区	夜間断熱区	無マルチ区
0 cm	18.9	11.5	11.3
2.5	17.9	12.1	12.8
5	17.4	13.5	13.5
10	18.5	15.4	16.5
20	19.2	18.3	17.2

夜間断熱区、無マルチ区の裸地においては地表面の含水率は極端に小さくなっているが、地下20 cmまでの平均はほぼ同じ値を示しており、いずれも断熱区より小さい。そして無マルチ区においては最も大きい値を示し、それは夜間断熱区、無マルチ区の1.5倍に達し、これはまた断熱区においては蒸発量が大きく抑制されていることを示している。

以上、断熱材を用いてマルチ被覆を夜間行った結果、熱収支では特に日中の純放射量、地中伝導熱量が多くなり、その結果、地温は昼夜ともに高く経過し、マルチ被覆時間を限定することによる地温効果が顕著に得られた。

第3節 フィルムの植穴と地温

1. 植穴の有無と地温

畦面被覆(マルチ)が地温に及ぼす影響についてはこれまでも多数報告されており、著者も各種のフィルムを用いて実験をおこなった(第1・2節)。しかし、それらの実験のほとんどは、作物の植えられていない無孔フィルムのマルチにおける物理的特性をみたものや、有孔フィルムの効果を作物の収量の面から評価した場合がほとんどで、フィルムマルチにおける植穴の地温に及ぼす影響については全く明らかにされておらず、わずか金関²⁶⁾が有孔のほうが無孔のものより地温低下のあること等を指摘しているのみである。

ここでは、マルチの植穴と地温との関係を、植被と無植被の条件で、主に熱収支、地温及び一般気象条件などから検討した。

2. 実験観測の設備と測定方法

1) 実験区の設置

(1) 1980年(4~6月)と1981年(4月~6月)の場合

東西方向に畦(畦長6m, 畦幅0.7m, 畦高25m)を設けて、それを下記のように3区分し、無植被下での比較をした。

A: 有孔マルチ区 (A-1)

B: 無孔マルチ区 (B-1)

D: 無マルチ区 (対照区)

マルチには黒色ポリエチレンフィルム（厚さ 0.04 mm, 実測値）を用い、有孔マルチ区では、フィルムに径 5.5 cm の植穴を 2 条（15 cm×20 cm）にあけた。この植穴の占める面積は、畦頂部の面積に対して約 6.5 %（面積比）である。

(2) 1981年（10月～12月）と1982年（1月, 4月～6月）の場合上記(2)の外に、植被（模型）のある区も加えた。

A：植被模型・有孔マルチ区（A-1～A-6）

B：植被模型・無孔マルチ区（B-1～B-6）

C：無植被・有孔マルチ区（C-1～C-5）

D：無植被・無マルチ区（対照区）

(3) フィルム植穴の大きさと地温

植穴の大きさと地温との関係を見るために、無植被下における有孔マルチの植穴の大きさを変えて、処理を行った(C)。

これらの処理条件は、まとめて表 2-10 に示した。

表 2-10 各区における処理

区	マルチ (A)						マルチ (B)						マルチ (C)					無マルチ (D)
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	
マルチ	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—
植穴の径(cm)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	—	—	—	—	—	—	2.5	6.5	10.0	16.0	20.0	—
植穴の比**	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	—	—	—	—	—	—	0.5	3.3	7.4	20.7	32.6	—
寒冷紗枚数	0	1***	1	2	3	4	0	1***	1	2	3	4	—	—	—	—	—	—
日射透過率****	100	76	68	44	28	11	100	76	68	44	28	11	—	—	—	—	—	—

注) *:処理, **:植穴の比(植穴面積/畦頂部面積, %), ***:寒冷紗のメッシュを調節, ****:1982年4月16日から7月11日までの平均値

各区の畦の大きさは、畦長 8.5 m, 畦幅 1.0 m の高さ 25 cm である。植被の模型には寒冷紗（テイジン AE 135, T-600）を使用し、畦面上 10 cm の高さで水平に固定した。これによって A, B 両区の日射透過率, 11～76% の間を 5 段階に抑制し、植被の繁茂程度に代えた。

フィルムの植穴は、(1) と同じ径で配置したが、無植被の有孔マルチ区では表 2-10 のように植穴の径を変え、2.5～28 cm の植穴をあけ、畦面に対する面積比 0.5～32.6% の間を 5 段階にするようにした。

2) 測定方法

地温の測定には、銅-コンスタンタン熱電対（径 0.5 mm）を用い、各区の中央部地下 5 cm にこれを 2 組埋設して、その平均出力を求めた。

土壌水分の測定は、地温の場合と同じ深さにガラスブロック製電気抵抗素子（2.6×1.9×0.8 cm, 島津製作所）を埋設して、連日、9 時に値を読みとって含水率に換算した。この他に、熱乾法及びテンシオメータ法を用いた。蒸発量の測定は、紙面蒸発計を畦面上に設置して行い、毎日、17 時に前日との差を求め、当日の蒸発量とした。また、マルチの植穴からの蒸発量は、2 台の拡大自記ライシメータ（1.2 m×1.2 m×1.0 m 深）によって測定した。これは地下水固定式で、その水位を地下 20 cm とし、一方の地表面は黒色ポリフィルムで覆い、フィルムには径 8 cm の植穴を 20×30 cm の間隔であけた。なお、この植穴の総面積は延 907 cm² になり、これはライシメータ内地表総面積の 6.3% に当たる。他の方は、裸地の状態とした。

熱収支の測定には、純放射計 (CN-6 型, CN-2 型, 英弘精機) を各畦の畦面上 50 cm に設置すると共に、地中熱流板 (CN-81 型, 英弘精機) には約 1 mm 覆土して行い、それぞれ純放射量と地中伝導熱量を求めた。顕熱伝達量と潜熱伝達量は、それらの残余によった。

3. 実験結果と考察

1) マルチにおける植穴の有無と熱収支

フィルムマルチにおける植穴の有無による熱収支の差異については、表 2-11 にその主なものを示した。なお、これら熱収支の符号は前述 (第 2 章第 1 節) に準じる。また、熱収支測定当日の日射量はそれぞれ $492 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (4 月 23 日, 1982 年) と $194 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (12 月 11 日, 1981 年) で、天候はともに晴天であった。

表 2-11 熱収支項の日量 ($\text{cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

	マルチ (A)			マルチ (B)			無マルチ (D)			
	R_n	B	$L+V$	R_n	B	$L+V$	R_n	B	$L+V$	
1982年 4月23日	+	389.3	81.0	311.1	407.6	95.0	316.1	221.1	95.0	128.5
	-	87.7	55.9	34.6	71.4	55.5	20.0	51.5	44.6	9.3
	Σ	301.6	25.1	276.5	335.6	39.5	296.1	169.6	50.4	119.2
		(100)	(-8)	(-92)	(100)	(-12)	(-88)	(100)	(-30)	(-70)
1981年12月11日	+	121.9	31.2	91.9	123.1	30.9	93.5	116.0	28.7	88.1
	-	69.8	41.9	29.2	56.6	41.6	16.4	61.6	38.3	24.1
	Σ	52.1	-10.7	62.7	66.5	-10.7	77.1	54.4	-9.6	64.0
		(83)	(17)	(-100)	(86)	(14)	(-100)	(85)	(15)	(-100)

注) R_n : 純放射量, B : 地中伝導熱量, L : 顕熱伝達量, V : 潜熱伝達量
()内の値は、純放射の日量に対する地中伝導、顕熱・潜熱伝達量の比

a. 純放射量: 昼間 (正值) と日積算量 (Σ) は (4 月 23 日), 有孔マルチ区 (A) の方が無孔マルチ区 (B) よりも若干 (4~10%) 下回った。また、夜間の純放射量 (負値) は、有孔マルチ区の方が無孔マルチ区より逆に多く、それは有孔マルチ区の放熱がより大きい事を意味する。

裸地 (無マルチ) では、両マルチ区に比べて昼間の受熱、夜間の放熱ともに小さかった。これは昼間の場合、両マルチ区のアルベドが約 8% (1982 年 4 月 23 日 12 時頃) であるのに対し、裸地ではそれが 2 倍以上 (18.0%) となって大きいことが考えられる。一方、夜間についてはマルチの 2 区と比較すると、4 月 23 日の場合は両マルチ区より放熱量は少ないが、12 月 11 日の結果では、3 区間の差は小さく、両日を通じて一致した傾向は得られなかった。これは 12 月の場合には、4 月の場合に比べて日射量が 60% も少ないことから、マルチの 2 区での昼間の受熱量 (純放射) が裸地のわずか 5~6% 増程度であったため、夜間には昼間の受熱量の影響が出現しなかったものと考えられる。

b. 地中伝導熱量: 日中、有孔マルチ区では無孔マルチ区よりも地中伝導熱量は少なかったが (約 15%), 夜間は両者にほとんど差がなかった。したがって、日積算値では有孔マルチ区と無孔マルチ区の比はさらに少なくなった (36% 減)。また、無マルチ区の昼間では、無孔マルチ区とほぼ等しい伝導量を示したが、夜間是有孔・無孔マルチ区よりも少なかったため、日積算値では無孔マルチ区より 28% 増、有孔マルチ区に対しては 2 倍増となる。これら有孔・無孔マルチ区よりも無マルチ区の伝導量の積算値が上回ることは、これまでにも得られている。

c. 顕・潜熱伝達量: 顕・潜熱伝達量の日積算値をみると、有孔マルチ区は無孔マルチ区より若干 (7%) 少ない程度で、両者の差は大きいものではないが、無マルチ区に対しては 2.3~3.5 倍にもなって、その差は大きい。こうしたマルチ区 (有孔・無孔) が、無マルチ区よりも顕・潜熱伝達量の多くなる量的傾向はこれまでにも得ら

れているが(第3章第1・2節)、これは前述したように黒色ポリフィルムによる日中の低いアルベドの結果、マルチ区の純放射面が多くなることと、フィルムが蒸発を抑制すること、さらに地中伝導熱量がフィルムと土壌表面間の空気層により抑制されるため、残余として得られた顕・潜熱伝達量が多くなったものと考えられる。

なお、植穴からの蒸発潜熱については、ライシメータでの比較実験(1982年10月~12月)の結果、面積比6.3%の植穴マルチの場合、裸地の約40%相当の熱量であることが認められた。

以上は4月23日の場合で、12月11日の結果は日射量の少ないこともあって、純放射量は、4月の場合ほどははっきりした傾向はみられなかった。しかし、日中における3区間の関係では4月の時と類似のものが多い。

以上、熱収支からみた有孔マルチと無孔マルチ間の差は、純放射量と地中伝導熱量ともに僅少で、植穴の影響は少なかった。ただ、残余項の顕・潜熱伝達量としては、無孔マルチの場合、そのほぼ100%が顕熱伝達量と考えられるのに対し、有孔マルチでは植穴からの潜熱伝達量がかなり多くの部分を占めることが考えられ、両者の質的差異も問題になるかも知れない。

2) 無植被のマルチにおけるフィルム植穴と地温

(1) 植穴の有無と地温

フィルム植穴の有無が地温に及ぼす影響をみるために、各実験年ごとに3~4カ月間、各処理区の地温を測定した(表2-12)。

表2-12 実験期間中における平均地温(°C)

区	1980年4月-6月			1981年4月-6月			1982年4月-6月			'81年10月-'82年1月		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均
マルチ(A)	25.8	16.9	21.7	29.7	15.7	21.7	31.7	19.2	24.8	19.1	10.0	13.7
マルチ(B)	28.0	17.4	22.9	30.7	16.3	22.4	32.3	19.6	25.6	19.1	10.3	13.9
無マルチ(D)	26.5	15.6	20.8	26.8	13.9	19.4	29.9	16.6	22.7	16.8	8.2	11.7

注) 実験区A, B, Dについては表2-10を参照

春から夏(4月~6月)にかけての最高地温では、植穴の存在が地温の低下として示された。すなわち、有孔マルチの方が無孔マルチよりも全般的に地温は低く(0.6~2.2°C)、1981、'82年においては裸地の地温が最も低かった。しかし、'82年には有孔マルチ区の温度が、裸地よりさらに低くなった(0.7°C)。この年次によって傾向が異なるのは、3)に後述するように1980年における4~6月の総降雨量が、'81年と'82年の場合に比べて30~67%も多かったことに、主な原因があると考えられる。

また、秋から冬(10月~1月)にかけては、有孔-無孔マルチ間の差はなかったが、これは主にこの時期には日射量が少ないことと、冬季の季節風による影響からマルチフィルムと畦表面とが接触する面積が両マルチ区とも小さかったために、日中の太陽放射の受熱に差がなくなり、地温差が生じなかったのであろう。

次に最低地温では、いずれの年も有孔マルチは無孔マルチよりも低かったが(0.3~0.6°C)裸地に対してはかなり高温(1.3~2.6°C)であった。また、平均地温においても、最低地温の場合と同じ傾向が見られた。

以上、フィルム植穴の地温に対する影響を、地温の平均値(3カ月)でみた結果、日中(最高地温)においては、春から夏(4月~6月)にかけて、植穴は地温の低下として作用するが、秋から冬ではほとんどそうした影響が認められなかった。しかし、夜間(最低地温)の場合は、春、秋とも、植穴が地温の低下をもたらした。

(2) 地温の高低順位別発生頻度

各マルチ区の地温効果を示す一定期間の算術平均値による表示法では、単に一面的な意味しかなく、期間中に

生じる区間の温度比較における逆転現象、つまり、マルチ区が裸地より低温となることがどの程度発生するかの動的な現象は全く表示しえない。

表 2-13 地温の各高低順位の発生頻度 (%)

	1980年 4月-6月			1981年 4月-6月			1982年 4月-6月			'81年10月-'82年1月		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均
A > B > D	11.1	4.8	15.7	17.9	1.1	12.2	11.8	6.2	6.0	37.1	14.9	16.9
A > D > B	23.8	74.4	54.6	0	0	0	1.2	0	0	49.0	73.7	82.2
B > A > D	0.8	1.6	1.7	78.8	96.7	86.6	74.4	85.3	91.5	1.9	1.0	0
B > D > A	44.4	0	17.4	0	0	0	6.8	0	0	1.9	0	0
D > A > B	1.6	0.8	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D > B > A	5.6	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	0	0
A > B = D	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B = D > A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
B > D = A	4.8	0	2.5	0	0	0	1.1	0	0	1.0	0	0
A = D > B	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D > A = B	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0
A = B > D	2.4	16.0	5.8	3.4	2.2	1.1	2.2	8.5	2.5	5.4	10.5	0
A = B = D	2.4	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

そこで表 2-13 には、有孔マルチの地温を、無孔マルチおよび裸地（無マルチ）とで比較し、それらの高低順位の各種タイプについて、その発生頻度を示した。なお、表中の A は有孔マルチ (A-1)、B は無孔マルチ (B-1)、D は無マルチ（裸地）であり、1980年～1982年の各時期ごとに最高、最低、平均地温について、各区間の高低順位がどの程度の割合で出現したかを表示した。

a. 最高地温：1980年（4月～6月）で最も出現頻度の高いのは、B > D > A の順位 (44.4%) のものであったが、1981年と1982年には、B > A > D が最大の出現頻度 (78.8%, 74.4%) を示し、無孔マルチはいずれの年次においても最高位で経過した。しかし、有孔マルチと無孔マルチとの高低関係は、年によって傾向が異なっている。こうした年次間の不一致は各期間の平均地温を比較した時にも示されたが (1)、これは年ごとの一般気象条件、特に雨量の異なることによるものが大きいものと考えられる。すなわち、各年次ごとの4月～6月の総雨量は、それぞれ 378 mm ('80年)、292 mm ('81年)、229 mm ('82年) で '81年と '82は '80年に比べて約 23～40% も降雨が少なかった。このような雨量の差が、たとえ植穴を有しているマルチでも、土壤水分に対する影響が無マルチの場合とは大きく異なることが考えられ⁵⁶⁾、そのことが土壤の熱容量の差に反映して、異なった年次によって異なった温度効果を示したものであろう。

秋から冬にかけて時期 (1981～'82) では、前述の時期と異なって A > D > B のタイプが最も多く現れ (49.0%)、A > B > D がそれに次いでいる (37.1%)。したがってこの時期では、いずれも有孔マルチが無孔マルチよりも高温である頻度が大である。

次に、これら最高地温の高低関係の出現頻度を、平均最高地温 (表 2-12) の場合に比較すると、春から夏にかけては3カ年とも、その高低関係がいずれも一致している。しかし、秋から冬にかけての時期では、1カ年の例に限られるが、両者にはかなりの差異がみとめられる。すなわち、区間地温のタイプ別最多出現頻度は A > D > B で最大となっているのに、平均地温の高低関係では A = B > D となっている。

これらの高低関係の不一致の原因は、平均地温の場合、対象となる期間内に1日でも突出した区の地温があれ

ば、それが平均値に大きく寄与して各区の高低関係に著しく影響することになるが、出現頻度では、1日1日の高低順位が期間内において等しい重みをもつという温度効果のとらえ方における質的差異にもとづくものと考えられる。

b. 最低地温：1980年の春～夏期と'81の秋～冬期において、出現頻度の最も高いのは $A > D > B$ (74.4%, 73.7%)であり、有孔マルチの保温性は無孔マルチと無マルチより大きい。しかし、'81年と'82年の春～夏期においてはいずれも $B > A > D$ (96.7%, 85.3%)の頻度が最大で、保温性は無孔マルチが最も安定している。

このように最低地温の場合、1980年～1982年の計4期の実験期間中、最多出現頻度の高低関係は2種類のものが得られたが、この理由については前述(最高地温)の場合と同様一般気象条件の年次による違いによるものと考えられる。

c. 平均地温：出現頻度は、いずれの年次の傾向も最低地温の場合と同じであった。また、平均地温の場合も、算術平均値による大小関係と一致しない年('80年、'81年～'82年)がみられた。

以上のように、マルチによる地温上昇、もしくは保温効果を高低順位別の出現頻度でみた結果、その効果は必ずしも安定的に得られるものではなく、一定期間の平均地温による区間の高低関係とは異なった傾向がみられる。

また、出現頻度から区間の高低関係をみた場合、有孔マルチ区の保温性が最大となる場合もあって、平均値による傾向とは若干異なっている。

(3) 地温効果と一般気象条件との関連性

フィルムマルチの植穴が地温に及ぼす影響を、マルチ区と無マルチ区との地温差で求め、各気象要素がどのように関連しているかを検討した。

地温効果は有孔マルチ区の場合、5cm地温の日最高地温(M_{AA})、最低地温(M_{IA})、及び平均地温(M_{EA})について無マルチ区との差を求めた外、日較差比(D_{RA})⁵⁴⁾も加えた。また、無孔マルチについても同じようにして求め(M_{AB} , M_{IB} , M_{EB} , D_{RB})、これらを重回帰式における目的変数とした。

説明変数としては、各気象要素と実験区の土壤含水率をとりあげた。その項目は、実験区に隣接した露場で観測した連日の平均気温、最高気温、最低気温、平均湿度、最低湿度、雨量、蒸発量(大型蒸発計)、日射量、日照時間、平均風速、最大風速及び各区の土壤水分(地下5cm)であり²²⁾、さらに降雨後係数(P_R)も加えた。これは、雨量を地温との関連で扱う場合、降雨後の土壤水分に対する影響を考慮に入れる必要を考え³⁴⁾、便宜的に、一定量以上の降雨(今回は2mm以上)があった日を3とし、翌2日目を2、3日目は1としたものである。

これらの説明変数の目的変数に対する相対的重要度をみるために、回帰式を求め³⁷⁾、各標準偏回帰係数を表2-14に示した。なお、変数の選択は、変数減少法によった^{28,60)}。

それによると、各関係式ともに無マルチ区との地温差を目的変数として選択された説明変数は2～5個で、比較的少なかった。得られた重相関係数は約0.60～0.82の範囲で予想したよりも小さい。こうした係数の低い原因としては、地温差に対する各気象要素(説明変数)の作用機構が異なること、また、各変数相互が影響を及ぼしあうのに要する時間の相違などが考えられる¹⁰⁰⁾。

最高地温においては、有孔マルチ(M_{AA})と無孔マルチ(M_{AB})に共通な変数は1つもみられない。有孔マルチでは、蒸発量(E_V)とマルチ下の土壤水分(W_F)が、等しい影響を地温差に及ぼしている。無孔マルチでは、対照区(裸地)の土壤水分(W_b)の係数が、選択された変数の中で最も大きく(0.683)、地温差(M_{AB})に及ぼす影響も最大である。

これらのことから、有孔マルチ、無孔マルチの最高地温については、ともに土壤水分の影響が大きいものといえる。これらについては、第3章第1・2節の実験で確認している。

表 2-14 マルチ区地温に関する重回帰分析

目的変数	標準偏回帰係数	重相関係数
M_{AA}	$-0.442 E_v + 0.442 W_p$	0.766**
M_{AB}	$-0.342 H_u - 0.373 W_m + 0.683 W_b$	0.797**
M_{IA}	$-0.239 H_u + 0.461 P_k + 0.668 A_m + 0.358 E_v + 0.428 W_p$	0.824**
M_{IB}	$-0.488 H_u + 0.393 A_m - 0.253 W_a + 0.267 E_v + 0.511 W_n$	0.793**
M_{EA}	$-0.412 E_v - 0.291 W_b$	0.599**
M_{EB}	$-0.249 H_i - 0.267 P_r + 0.707 A_m - 0.909 D_u$	0.691**
D_{RA}	$-0.369 A_m - 0.326 E_v + 0.250 W_b$	0.716**
D_{RB}	$-0.414 W_m + 0.518 W_b$	0.718**

注) M_{AA} : 最高地温の差 (A-D 間, 地下 5 cm); M_{AB} : 同 (B-D 間), M_{IA} : 最低地温の差 (A-D 間); M_{IB} : 同 (B-D 間), M_{EA} : 平均地温の差 (A-D 間); M_{EB} : 同 (B-D 間), D_{RA} : 地温の日較差比 (A/D); D_{RB} : 同 (B/D), W_m : 平均風速; W_a : 最高風速, H_u : 平均湿度; H_i : 最低湿度; A_m : 日射量, D_u : 日照時間, E_v : 蒸発量, $W_p \cdot W_n \cdot W_b$: 土壌水分 (各 A, B, D 区), P_r : 降雨量, P_k : 降雨後係数, **: 1% 水準で有意

最低地温については、両マルチ区ともに選択された変数は 5 個もあり、しかも、それらのうち 4 個は両区に共通な変数で、それらは、平均湿度 (H_u)、日射量 (A_m)、蒸発量 (E_v)、土壌水分 (有孔マルチ区: W_p 、無孔マルチ区: W_n) である。土壌水分が地温に大きく影響を及ぼすことは、最高地温の場合と同じであり、平均湿度も選択されている。これは最低地温の出現する夜間 (早朝) には、放射冷却が盛んであり、この時の放射量推定の経験式が湿度の要因を含むことと一致している。

蒸発量は、各気象要素の総合化されたものと考えられ⁹⁾、後述する平均地温、地温日較差比にも選択されている。日射量については、晴天日であるほど、早朝の気温、並びに地温が低下する傾向があり、それとの関連で選択されたものと考えられる。

また、有孔・無孔マルチ区に共通でない変数として、有孔マルチでは降雨後係数 (P_k) が選択されている。これは、フィルム植穴の存在が、そこでの降雨の土壌への浸透を促進させることにより、土壌の熱容量を大きくし、それが夜間の地温低下を緩和することになったため、変数として選択されたものと考えられる。一方、無孔マルチでは最高風速 (W_a) が選択されているが、これは無孔マルチの現場では、風によって畦表面からフィルムが持ち上がり、その結果、地下部の地中熱伝導量に大きく影響を及ぼしたものと考えられる。これについて筆者は、室内にて人工光源下 ($0.86 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$) で模型畦を設置し、黒色ポリフィルムの被覆処理を行い、そこでの地温変化と風速との関連をみた結果、強風 (最大 4.5 m s^{-1}) であるほど、無風時の模型畦に比べて、畦面付近の地温の勾配が比例して小さくなり、地中伝導熱量も少なくなったことを得ている⁷⁴⁾。

平均地温では、両区に共通な変数はない。有孔マルチ (M_{EA}) では蒸発量 (E_v)、対照区の土壌水分 (W_b) のうち蒸発量が、また、無孔マルチ (M_{EB}) では最低湿度 (H_i)、降雨量 (P_r)、日射量 (A_m)、日照時間 (D_u) のうち日射量と日照時間の多少が平均地温に大きく影響を及ぼしている。

地温日較差比 (後述、第 3 章第 1 節) の場合、有孔・無孔マルチに共通な変数は、裸地の土壌水分 (W_b) で、有孔マルチ (D_{RA}) ではその外に日射量と蒸発量が選択され、ともに土壌水分より地温日較差比へ及ぼす影響は大きい。無孔マルチ (D_{RB}) では平均風速 (W_m) が選択されており、最低地温の場合も、風速 (最高) が選択されていることから、無孔フィルムでは風による影響が有孔の場合よりも大きいものといえる。

以上の回帰式より、マルチの地温効果には複数の気象要因が関与し、フィルム植穴の有無によって選択される要因も必ずしも一致しないことが判明した。すなわち、最高地温では有孔・無孔の両マルチ区ともに土壌水分の要因のみが選択された。最低地温では 4 個の要因 (平均湿度、日射量、蒸発量、土壌水分) が両区で選択された。

地温日較差比になると土壤水分のみが共通であり、平均地温では、両区に共通な要因は全く得られていない。

なお、有孔・無孔マルチともに全体的に土壤水分による影響が大きいことについては、後述（第3章第1・2節）する実験結果と一致している。特に有孔マルチでは、植穴を通じて降雨の影響があり（最低地温）、無孔マルチでは風の影響が顕著である（最低地温、地温日較差比）。

(4) 植穴の大きさと地温

植穴の大きさが地温に及ぼす影響を、図2-7に示した。そこでは各有孔マルチ（C-1～C-5）の地温と、対照区（無孔マルチ、A-1）との差をとって、両者の関係をみた。

なお、対照区の地温（地下5cm）の変動幅は0～30°Cとしたが、これは香川県における年間の地温変化²²⁾を考慮してのことである。

まず、最高地温をみると、各区共地温（対照区）が上昇するほど温度勾配は下がって、有孔マルチの植穴の径によって地温に対する影響が異なっている。すなわち、植穴を面積比でいうとそれが3.3%以下のマルチ（C-1、C-2 植穴の径は2.5、6.5cm）は、比較的低温（22°Cと10°C以下）の季節にはそれぞれ無孔マルチよりも高温となるが、高温の季節ではその逆となって無孔マルチより地温は低下する。それに対して径の大きいC-3～C-5（面積比>7.4%）では、どの季節でも有孔マルチの方が無孔マルチより地温が低く、その温度差は地温の上昇と共に大きくなる。これらは、植穴部の裸地面とフィルム面における日射の受熱量と、植穴部を通じての放熱量の両者の大小関係により生じたものと考えている。すなわち、比較的低温（22°Cと10°C以下）の季節には、面積比3.3%以下のC-1、C-2では、植穴部からの放熱よりも、そこでの日射による受熱が大きいものと思われるので無孔マルチより上昇したものであろう。

ついで最低地温では、面積比0.5%（C-1）と対照区との温度差は、最大でも0.3°Cにすぎず、植穴の有無が余り地温に影響していない。植穴の面積比がこれ以上になるとそれが大きいほど地温低下も大きくなり、面積比32.6%の区（C-5）では最大2.5°Cの温度差がみられる。このことから、面積比が大きくなるほど有孔マルチによる保温効果は減少することになる。

なお、平均地温では全体的に対照区よりの温度低下が目立っており、傾向としては、最低地温の場合に等しい。

次は、植穴の面積比の大小と地温の日較差比の関係を調べた（表2-15）。各日較差比は、実験期間中

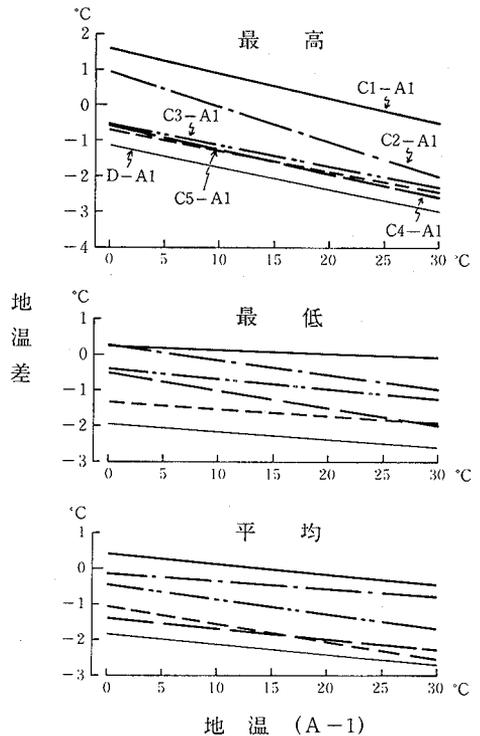


図2-7 対照区（A-1）の地温と地温差（各マルチ区－A-1）との関係

表2-15 各区の地温日較差比の変化（地下5cm, 1981年10月-1982年1月）

区	日較差比
C-1	1.02
C-2	0.96
C-3	0.90
C-4	0.76
C-5	0.99
L. S. D. (5%)	0.06

注) 各区の比はNo. 1に対するもの

における無孔マルチ (A-1) の地温日較差を分母として、各区 (C-1~C-5) の日較差を除いたものである。

これによると、面積比0.5% (C-1, 径 2.5 cm) の地温日較差比は対照区とほとんど変わらないが、面積比が 3.3% (C-2, 径 6.5 cm) 以上になると日較差比は減少し、面積比が20.7% (C-4, 径 16 cm) を越えると日較差比は反対に大きくなり、それが32.6% (C-5, 径 28 cm) になると日較差比は約1.0となって対照区と変わらない。このような植穴のおおきさの推移に対し、地温日較差比が途中で増加するような傾向は、同じような実験を試みた1982年4月~6月においてもみられた。ただし、その場合、増加は面積比3.3% (径 6.5 cm) の以後にみられており、今回との差異については、(3)に前述したように両実験年の一般気象条件の相違によるものと考えている。

この植穴の径が大きくなるにつれて、日較差比が減少し、途中で増大する変化についても、前述したような植穴部における日射受熱と、そこを通じての放熱との大小関係によるものと考えている。

以上のように、植穴の地温へ及ぼす影響を地温差からみると、最高地温と最低地温ともに植穴の面積比が大きいほど対照区 (無孔マルチ) より地温が低下する。一方、地温日較差比では、植穴の面積比 ($\geq 2.5\%$) が大きくなるほど日較差比は次第に減少し、20.7%では最小を示し、対照区の温度変化に比べて最も変化が小さくなる。

3) 植被マルチ区におけるフィルム植穴と地温

(1) 植被 (模型) と無植被の地温差

フィルムマルチ (有孔・無孔) における植被模型の地温へ及ぼす影響を、図 2-8 に示す。

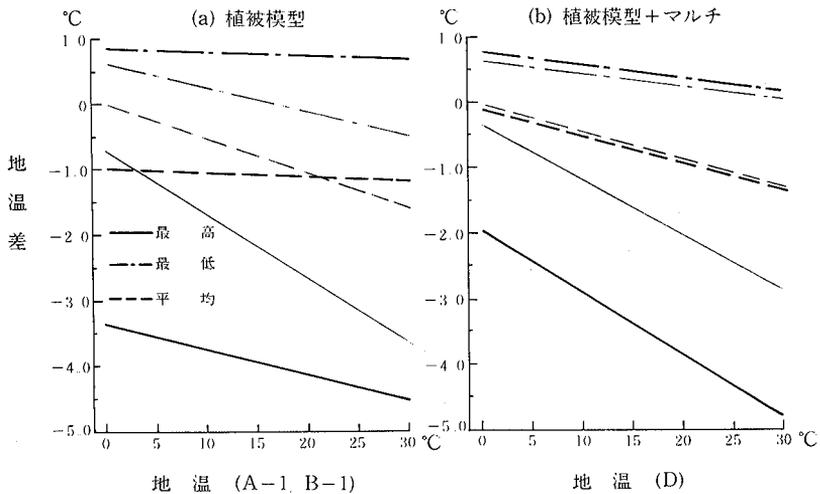


図 2-8 植被模型とマルチが地温差 (各マルチ-対照区) に及ぼす影響。太線は植穴のある有孔マルチによる地温差を、細線は無孔マルチによるものを示す。図 (a) の A-1 は有孔マルチ、B-1 は無孔マルチに対応。

図の (a) は、有孔マルチ (太線) と無孔マルチ (細線) について植被 (模型) 単独の効果をみたもので、グラフの x 軸には対照区 (無植被である有孔マルチの A-1, 同じく無孔マルチの B-1) の地温をとり、Y 軸には植被模型の透過率を 68% とした処理区 (A-3, B-3) と対照区 (A-1 と B-1) との地温差、つまり、有孔マルチでは (A-3)-(A-1)、無孔マルチでは (B-3)-(B-1) の地温差をとった。また、(b) には植被 (模型) とマルチの複合効果が示されており、無マルチ (D) との比較を有孔マルチ (A-3)-D と無孔マルチ (B-3)-D における地温差で示した。

a. 植被(模型)単独の効果: 最高地温をみると、有孔マルチでは植被模型による温度低下は全体的に著しく、対照区(A-1)が0°Cの時、植被区(A-3)の低下度は3.4°Cであり、対照区が30°Cではそれが4.5°Cにも達している。また、無孔マルチでも対照区(B-3)よりすべて低くなっており、その程度は対照区の地温が高い時ほど大きい。すなわち、地温の(対照区)が0°Cでは、植被模型による地温の低下度は0.7°Cにすぎないが、対照区の地温が30°Cになると、それは3.7°Cにも増大する。

こうした植穴の有無による影響の違いは、前述してあるとおり、主に土壌水分量に起因し、有孔マルチの植穴が無限大に広がったものとしての無マルチと、無孔マルチを比較した場合でも同様な傾向が得られている(第3章第1節)。それによると、植被模型による温度低下の割合は、無マルチの方が無孔マルチにおけるよりも大きく、しかも、その原因と考えられる土壌水分量は、無マルチ<無孔マルチであった。今回の場合でも、有孔マルチと無孔マルチ間の実験期間中、土壌水分には差がみられ、1982年4月23日において有孔マルチが14.4%(0~20cm深の平均値)で、無孔マルチ(17.2%)より少なかった。次に最低地温の場合は、最高地温の時の違った傾向が示されている。すなわち、有孔マルチでは、対照区の地温変化(0~30°C)にもかかわらず、ほぼ一定した保温効果(0.6~0.8°C)が認められる。一方、無孔マルチでは、対照区の地温(A-1)が比較的低温(0~17°C)の季節は、植被模型があることによって約0~0.7°Cの範囲で保温効果が認められた。しかし、対照区の地温が高くなると、模型の影響はむしろ地温を低下させる傾向になる。

この有孔・無孔間の関係についても、主に両区の土壌水分に差があったことから、熱収支が異なり、地温に対する植被模型の日射抑制の影響も異なったものと考えている。

さらに、平均地温では有孔マルチの場合、対照区の地温(A-1)に対し、約1°C低温で経過した。無孔マルチの場合では、最高地温の場合と同様に対照区の地温が上昇するにつれて、植被模型は温度低下として作用するが、その程度は小さい。

b. マルチとの複合効果: これについても、最高と最低では植被(模型)単独の場合と傾向的にはほぼ等しく、平均地温になると、無孔-有孔間の差がほとんどみられなくなる。ただ、マルチとの複合効果として模型単独の場合に比べて、全体的(最高、最低、平均)に地温差は小さい。

これらについては後述(第3章第1節)のように、無孔マルチにおける模型単独の効果と複合効果は傾向的に一致し、この地温差が複合効果において小さいのは、植穴の有無にかかわらず、模型による日射抑制が地温低下として作用するが、一方にはマルチ被覆による地温上昇があるため、それらが相殺されたためであろう。

以上のように、植被模型の効果はマルチ植穴の有無でことなり、有孔マルチでは無孔マルチに比べて日中、日射の抑制による温度低下は大きいですが、夜間になると有孔マルチの保温効果がより顕著となる。また、植被(模型)にマルチの加わった複合効果では、模型単独の場合と傾向的にはほぼ同一と考えてよい。

(2) 地温の日較差比

有孔・無孔マルチにおける植被模型の効果、及び植被模型とマルチの複合効果を、地温日較差比で表し、表2-16に示した。なお、表中の日較差比(1)と日較差比(2)は、有孔マルチ(マルチA)、無孔マルチ(マルチB)におけるそれぞれの模型単独の効果と植被模型とマルチによる複合効果を示す。

これによると、有孔マルチにおける植被模型および模型とマルチによる効果、つまり、地温の変動幅は、日射の抑制程度が大きくなるに従って逆に小さくなる傾向がある。一方、無孔マルチにおける模型単独の日較差比は、有孔マルチの場合より、全体的に0.03~0.21もおおきくなり、地温日較差へ及ぼす無孔マルチの影響は、有孔マルチにおけるよりも若干小さくなるが、傾向として有孔マルチの場合と一致して、マルチを加えた複合効果の場合も模型単独とほぼ同じ値である。

表 2-16 各区における地温日較差比

区	マルチ (A)		区	マルチ (B)	
	日較差比(1)	日較差比(2)		日較差比(1)	日較差比(2)
A-2 (76)	0.63	0.66	B-2 (76)	0.76	0.77
A-3 (68)	0.48	0.55	B-3 (68)	0.69	0.70
A-4 (44)	0.48	0.51	B-4 (44)	0.58	0.59
A-5 (28)	0.47	0.49	B-5 (28)	0.50	0.50
A-6 (11)	0.40	0.42	B-6 (11)	0.49	0.46
対照区	A-1	D	対照区	B-1	D
L. S. D (5%)	0.03	0.04	L. S. D (5%)	0.04	0.02

注) ()内の値は日射透過率(%), 日較差比(1)は植被模型による影響を, 日較差比(2)は植被模型とマルチ資材による影響を示す

これらに関連して別に実験を行った無孔マルチの場合(後述の第3章第1節)では, 全体的に複合効果の方が模型単独の場合より若干低かった。今回との相違は, 両実験年の期間中における気象状態, 特に雨量が異なることによるものと考えられる。

すなわち, 第3章の場合の実験期間中(1977年8月~12月)における月降雨量は115mmに対し, 今回の場合(1982年10月~1983年1月)はそれの1/2以下の43mmであった。雨量が異なることで, 土壌含水率も変化し, それが土壌の熱容量から地温変化に反映したものと考えている。さらに, 無植被の無孔マルチ区の地温日較差に関する重回帰式(表2-14)においても, 降雨そとれに関連する土壌水分の変数が選択されていることに, 降雨の影響の大きいことが示されている。以上, 地温日較差比からみた植被模型の効果, 及び模型とマルチの複合降下についてはほとんど差がなかった。また, それらの効果を有孔・無孔のマルチで比較すると, 無孔マルチよりも有孔マルチの方が地温日較差比は0.03~0.21ほど小さくなり, 日射抑制(植被繁茂)による影響は有孔マルチの方が大きかった。

このように, 黒色ポリエチレンフィルムマルチによる地温降下を, 植被(模型)と植穴の有無との関連で実験した結果, マルチの地温効果は植穴の有無によって異なり, 日中の温度では, 春から夏にかけての季節(4月~6月)の場合, 植穴は地温の低下(有孔マルチ<無孔マルチ)として作用するが, 秋から冬ではそうした影響は認められない。また, 地温の低下度はいずれの時期でも植穴が大きいほど顕著であり, 植被(模型)がある場合でも, 植穴の影響が同じようにみられる。

しかし, マルチによる地温降下は, 連日, 一定したのではなく, 有孔マルチ, 無孔マルチ, 無マルチにおける地温の高低順位にはかなりの入れ変わりがあるなどが明らかになった。

第4節 要 約

フィルムマルチが地温に及ぼす影響を, フィルムの種類, フィルムの取り外し, 及びフィルム植穴の有無の場合に別けて特徴をみた。各項目毎に, 得られた結果について述べる。

1. フィルムマルチのアルベドの大小と地温

マルチ資材としてアルベドの高い黒色ビニールと, アルベドの低いアルミ箔を用いてマルチを行い, それぞれの地温特性をみた。

(1) 黒色ビニール区ではアルベドが低いために, 対照区の裸地に比べて日中の純放射量, 顕熱伝達量の増加は著しいが, アルミ区では逆にそれは小さかった。地中伝導熱量については, マルチの2区共に対照区より少な

い量であった。

(2) 黒色ビニール区ではその低いアルベドにより、フィルムを境に接地気温・地温は高く、変動幅は大きい。アルベドの高いアルミ区では逆の傾向となることから、マルチにおいては資材のアルベドの大小が接地気温・地温を大きく決定づけるものとなった。

(3) マルチの2区の地温を調和分析した結果、マルチの区は対照区に比べて地温変化が緩慢となり、さらに黒色ビニール区ではアルミ区に比べて振幅は大きい。その減少係数は小さいこと、不易層の深いこと、地中熱拡散率と地中熱量変化の大きいことが明らかになった。

2. マルチ被覆の方法と地温

マルチの被覆時間を夜間に限定し、地温上昇を計るために実験を行った。実験区として断熱材によるマルチを終日したままの断熱区、夜間にそのマルチをした夜間断熱区、対照区としての無マルチ区を設けた。

(1) 各区の熱収支をみると、断熱区では純放射量のうち地中伝導熱量に占める量は無視できる程小さく(2%)、他は顕・潜熱伝達量である。夜間断熱区では地中伝導熱量の割合は21%もあり、これは無マルチ区の13%より大きくなっており、夜間被覆の降下が現れている。

(2) 夜間の接地気温では、終日マルチをした断熱区の気温低下が最も著しく、日中は逆に気温上昇が目立ったが、夜間断熱区は無マルチ区とあまり変わらなかった。

昼間では、夜間断熱区(8.7°C) > 無マルチ区(6.9°C) > 断熱区(5.9°C)となり、さらに日平均、日較差においても夜間断熱区が最も高く経過しており、マルチの取り外しによる降下は顕著であった。

(3) 地中熱量の日変化の較差は、19 cal cm⁻²(断熱区)、55 cal cm⁻²(夜間断熱区)、70 cal cm⁻²(対照区)で、マルチの区はいずれも対照区の裸地より小さい。また、断熱区は夜間断熱区より小さく、無マルチの1/3程度である。これは断熱材による終日マルチにより、地中の熱交換が大きく抑制されることを示している。

3. フィルムの植穴と地温

マルチ資材として黒色ポリフィルム(厚さ0.04 mm)を用い、植穴(径5.5 cm)のある有孔マルチ区と、それの無い無孔マルチ区を設けた。また、その場合、植被の影響もみるため、寒冷紗による日射抑制を行って植被繁茂によるものとした。

(1) 熱収支からみた有孔マルチ区と無孔マルチ区との差は、各収支項ともに僅少であった。

(2) 有孔・無孔マルチの地温を一般の気象要素との関係からみた結果、両区共に土壌水分による影響が大きかった。また、有孔マルチ区の最低地温には降雨が、無孔マルチ区の最低地温と地温日較差比には風速がそれぞれ深く関連しているようである。

(3) 地温の日較差比を用いてマルチの地温降下を比較した結果、植被(模型)だけの場合(有孔マルチ: 0.40~0.63, 無孔マルチ: 0.49~0.76)とそれにマルチが加わった複合効果の場合(同0.42~0.66, 0.46~0.77)との間には大きな差がみられなかった。また、有孔と無孔の比較では、有孔マルチの日較差比が無孔マルチより小さく、温度変化も小さいことになり、したがって、植被繁茂の影響は、有孔マルチの方がより大きいものと考えられた。

第3章 フィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響

第1節 植被模型と地温

1. 植被と地温

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、マルチによる被覆がされており、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を変化させるにもかかわらず³⁾、それら被覆資材と植被（茎葉）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⁶⁵⁾。

これに関して田辺ら（1973）⁸²⁾は、数種の蔬菜でポリマルチによる栽培を行った結果、マルチ効果は植被繁茂の程度によって異なり、マルチによる地温の上昇は生育の初期においてのみにみられることを指摘している。

ここでの実験は、プラスチックマルチ資材として最も代表的な黒色ポリエチレンフィルムを用いて^{21, 53)}、畦間気象に対する被覆と植被（模型）の個々の効果、および植被と被覆の複合効果を、茎葉による遮蔽を模して、主に地温の面から明らかにするために行ったものである。

なお、本節では、放射を制限する遮蔽（植被）の効果と地表からの蒸発散や熱交換等を抑制する被覆の効果を研究の対象としており、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。

2. 実験観測の設備と測定方法

実験は東西方向の2畦（畦長10.8m、畦幅1.3m、畦高25cm）を設けて行った。両畦ともに6等分（1.8×1.3m）して、1畦は黒色ポリエチレンフィルム（幅180cm、厚さ0.04mm）でマルチしてマルチ畦とし、他方は無マルチのままの無マルチ畦とした。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。マルチ畦と無マルチ畦は、同一方法、同一資材（寒冷紗、テイジン AE135、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（1.75m×1.3m）は、畦面上10cmの高さで水平に固定した。それによる各区の日射の透過率は表3-1（日平均值）のとおりである。なお、表中、No.1、No.7はそれぞれマルチ畦、無マルチ畦における対照区である。また、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^{8, 58)}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（地下5cm）及び土壌水分（地下5cm）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地上50cmの高さにアルベド計（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

表3-1 各区の日射透過率

区		寒冷紗枚数	日射透過率
マルチ	無マルチ		
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

*: 径6mmの穴を等間隔にあげた

行い、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0.5 mm）を使用した。測点は各区の中央部の地下5 cmに設け、自記させた。

土壌水分は、各区の中央部の地下5 cmにガラスブロック製電気抵抗素子（2.6 cm×1.9 cm×0.8 cm、島津製作所）を埋設し、連日午前9時に値を読み取った。

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. 実験結果と考察

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時間観測における日射量はそれぞれ 369 cal day^{-1} （8月31日）、 332 cal day^{-1} （10月2日）および 238 cal day^{-1} （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回の平均は No. 1 が 9.5%、No. 7 が 17.3% となった。マルチ畦のアルベドは無マルチ畦のそののほぼ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表3-2に示した。なお、これら熱収支項の符号は、前述（第2章第1節）と同じである。

表3-2 熱収支各項の日量 ($\text{cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

	マルチ (No. 1)			無マルチ (No. 7)		
	R_n	B	$L+V$	R_n	B	$L+V$
8月31日	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
10月2日	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
12月23日	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

注) R_n : 純放射量, B : 地中伝導熱量, L : 顕熱伝達量, V : 潜熱伝達量

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。季節による純放射の差ははっきりしていないが、日射量の少ない12月では、正の純放射と日積算純放射量は8月10日に比較して極端に少ない。

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、上原ら（1976）⁸⁸⁾、および Waggoner（1960）らの報告⁹⁶⁾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、他の実験（第4章第1・2節）においても述べているように、マルチと畦土壌表面間に多くの空気層が生じ、その結果、マルチ下の熱伝導が無マルチのものより小さく

なったものを考えられる。

したがって、熱収支式の残余項として得た潜・顕熱伝達量の日積算量 (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、顕熱伝達量として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 (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、マルチ畦の方がいざ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図 3-1 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^{-1} では最高の約 6°C が記録された。しかし、日射量が少なくなって約 120 cal day^{-1} 以下となると、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^{-1} ごとに約 1.2°C 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^{-1} の場合、温度差は約 4.5°C となった。この場合も、日射量が 100 cal day^{-1} 増加するごとに、約 0.8°C の昇温効果が得られる。

しかし、最低地温では、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。

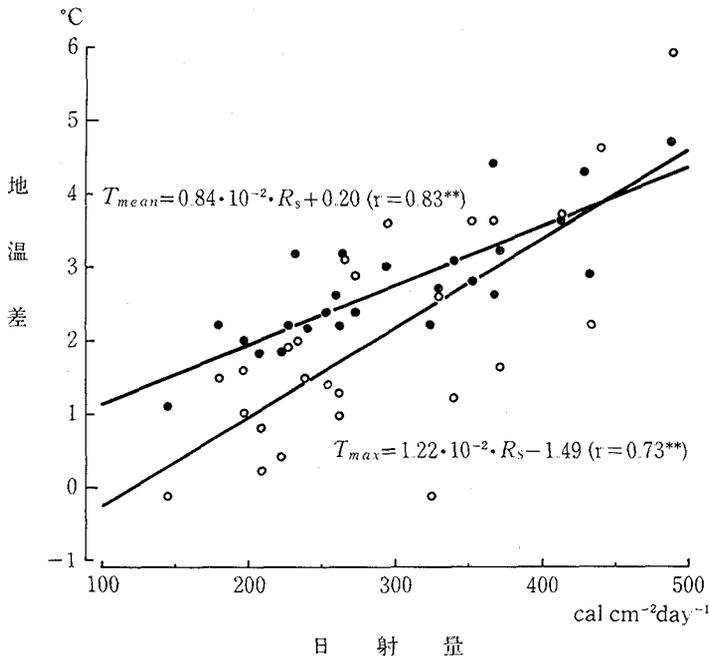


図 3-1 地温差 (No. 1~No. 7) と日射量 (R_s) との関係 (地下 5 cm, 半旬平均)
 白丸: 最高地温の差 (T_{max}), 黒丸: 平均地温の差 (T_{mean}).

(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（1979）が発表した実験結果³⁴⁾と傾向は一致している。

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. 無マルチ区

無マルチ畦において日射抑制をした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、図3-2(a)に示した。

すなわち、最高地温（8月~12月、No. 7で7~37°C）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°C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°C）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±2°C内外であった。また、地温差の0°Cになるところは、対照区の地温で22~30°Cの範囲であった。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°C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、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°C）では、対照区が10°Cまで低下すると、遮蔽の程度による地温の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なくても認められた。

b. マルチ畦

無マルチ畦の場合と同様にして、図3-2の(b)に各処理区と対照区（No. 1）との関係を示した。

最高地温（8月~12月、No. 1で8~42°C）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各区の地温差はより急速に縮小した。すなわち、日射の透過率が23%の無マルチ区（No. 10）とマルチ区（No. 4）の比較では、対照区（透過率100%）の地温が35°Cの時、対照区（No. 7, 1）との地温差はそれぞれ4.4°C、4.2°Cで、ほぼ類似していた。しかし、地温が10°Cになると、地温差は無マルチ区では1.4°C、マルチ区では0.2°Cとなって、

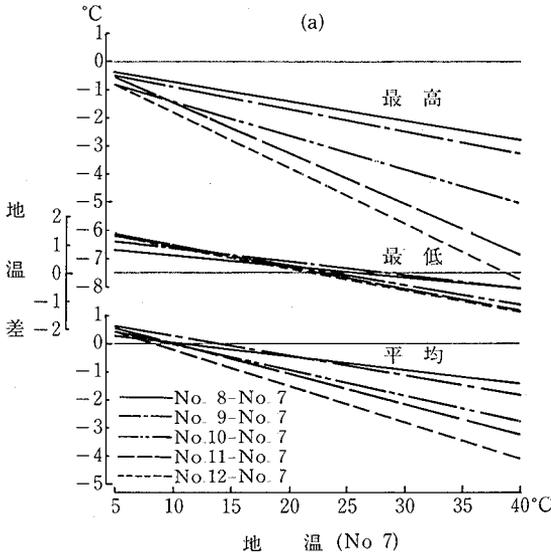


図 3-2a

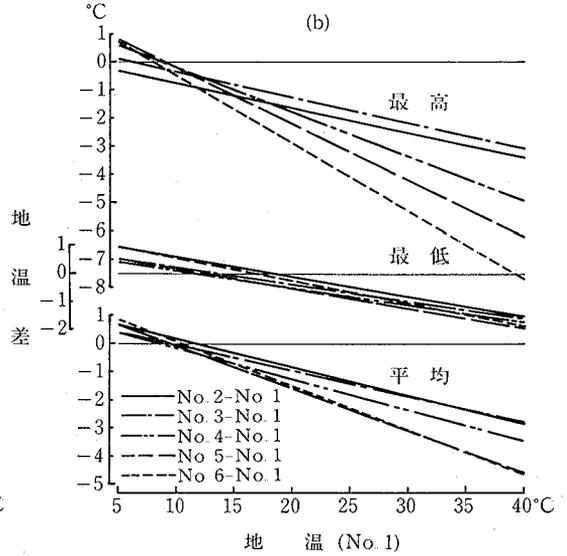


図 3-2b

両区における地温差が大きくなった。

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壤含水率が高く (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) との含水率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°C) 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°C 以内であった。しかし、無マルチ畦と異なる点は、マルチ畦では対照区との地温差 0°C の出現が、最低地温が約 15°C 付近で、無マルチ畦の場合より約 10°C も低いところにあるということである。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壤含水率の差にもとづくものであろう。また、平均地温 (7~35°C) でも、地温の低下と共に対照区との地温差が減少して、10°C 付近では対照区との地温差が 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、対照区の地温が低温になる時期には、無マルチ畦に比べてマルチ畦での地温差 (各処理区—対照区) 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、無マルチ畦の場合よりマルチ畦の方が季節的に大幅に遅れて出現した。

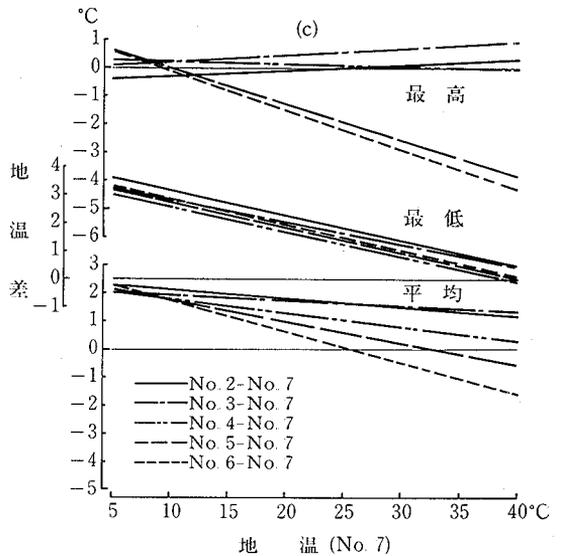


図 3-2c

図 3-2 各地温差 (処理区—対照区) と対照区の地温との関係 (地下 5 cm, 半旬平均)。対照区: (a)と(c)は No. 7, (b)は No. 1.

(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³⁴⁾。

表 3-3 各区の地温日較差比 (地下 5 cm)

マルチ		無マルチ	
区	日較差比	区	日較差比
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

注) マルチの各区は No. 1 に、無マルチの各区は No. 7 に対する比。
マルチの () 内は No. 7 に対する比。

得られた結果は表 3-3 の通りで、マルチ畦、無マルチ畦とも区間差は明瞭である。しかも、マルチ畦で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よう。

これら日較差比と日射透過率との関係を図 3-3 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。

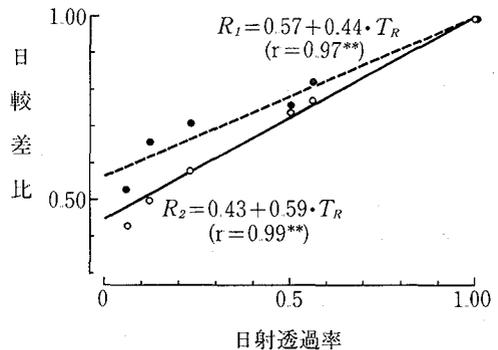


図 3-3 地温の日較差比 (R_1 , R_2) と植被模型の日射透過率 (T_R)。 R_1 : マルチ区/No. 1, R_2 : 無マルチ区/No. 7。

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、2) に前述したのと同様にして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、図 3-2 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 (図 3-2 の (a), (b)) とは若干異なって、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°C 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。

(2) 日較差比

マルチ畦の各区について、前述の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、表3-4に示した。

表3-4 地温日較差比(地下5cm, 各マルチ区/No.7)と日射量との関係

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

注) R_s : 日射量 ($\text{cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$), H : 地温の日較差比(各マルチ区/No.7)

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かる。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いろいろ述べてきたが、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。次節では圃場における実際の作物群落を対照として、検討をすすめていく。

第2節 植被による場合

前節では、植被模型として寒冷紗を用い、被覆資材(黒色ポリエチレン)と植被のそれぞれの単独効果、および複合効果について、主に地温の面から述べた。すなわち、マルチによる顕熱伝達量の増加、植被単独の地温への影響がマルチの有無によって差があること、およびマルチと植被の複合効果として、日射の抑制による地温の低下が、マルチ単独による地温の上昇と相殺されることのあるなどが得られた。

しかし、これは植被が模型であるため、その実験結果を栽培現場の各作物にそのまま利用することはできない。そこでこの節では大豆を用い、栽培期間中の黒色有孔ポリフィルム(植穴のある)によるマルチの効果と、大豆の植被そのものの自己マルチ効果について実験を試み、得られた結果について報告する。

1. 実験観測の設備と測定方法

実験は、次のような実験区を設け、1979年4月より8月にかけて行った。すなわち、

- a. 無マルチ区 No. 1: 無植被無マルチ区
No. 2: 植被無マルチ区
- b. マルチ区 No. 3: 無植被マルチ区
No. 4: 植被マルチ区

畦(畦長6m, 畦幅80cm, 畦高25cm)はすべて東西方向で、計16畦作成し、全体を二つに分け、8畦は黒色ポリエチレンフィルム(幅135cm, 厚さ0.04mm, 径5.5cmの植穴)で被覆を行い、残り8畦はそのままの

無マルチとした。また、マルチ、無マルチの各8畦のうち、それぞれ5畦は植被、3畦は無植被とした。なお、今回用いた黒ポリは、前節の場合と異なり、植穴が20×20 cm 間隔であけられている（植穴面積の被覆面積に対する割合は畦頂部で2%）。

実験期間中、地温、土壌水分、蒸発量および植被内畦面上での日射透過率を連日観測した。地温測定には熱電対（銅—コンスタンタン、径0.5 mm）を使用し、土壌水分の測定はガラスブロック製電気抵抗素子（2.6 cm×1.9 cm×0.8 cm、島津製作所）により、どちらも地下5 cm に埋設した。土壌水分は連日9時に値を読み、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。

蒸発量は、平田式紙面蒸発計を畦面に設置し、連日18時に測定して、前日との差を当日の蒸発量とした。

日射透過率は、管型日射計（中野製作所）を用い、株間（畦の中央部）に設置した。

熱収支項の測定は、区ごとに畦の中央部付近で行った。すなわち、アルベドは畦面上、または植被面上50 cm の高さにおいて日射計（農試電試型、中野製作所）を地表面に向け、水平に固定して各区とも同様に測定した。なお、この場合、日射計の零点変動による測定誤差を極力小さくするために、零点側をアルミ箔で覆った^{48, 75)}。純放射量は、純放射計（CN-6型、英弘精機）で同じ50 cm 高において求めた。地中伝導熱量は、地中熱流板（CN-8型、英弘精機）に約1 mm 覆土して測定し、それぞれ自動平衡記録計に自記させた。

また、熱収支と微気象の日変化を得るため、実験期間中、2日間（6月4日、7月26日）の24時間観測を実施した。微気象観測にあたって、地温は各区とも地表面、地下2.5, 5, 10, 20 cm を測定した。気温は6月4日には無マルチ区（No. 1, 2）が地表面上15, 12.5, 10, 5, 2.5 cm を、マルチ区（No. 3, 4）では22.5, 20, 10, 5, 2.5 cm の各高さでマルチの表面を測定した。7月26日には大豆の草丈がさらに伸びたので、無マルチ区は地表面上80, 55, 45, 40, 25, 5 cm を、マルチ区では100, 80, 70, 60, 40, 20 cm の高さでマルチ表面を測定した。このようなフィルムマルチの有無による測定部位の差異は、両区の生育差によることと、植被による貯留熱の概略を求めるために生じたものである³⁶⁾。

大豆の供試品種は、枝豆用中生種の“大振袖”で、1979年4月28日に植被無マルチ区（No. 2）と植被マルチ区（No. 4）の畦に播種し（20×20 cm）、8月21日に収穫した。その栽培方法は、慣行に準じた。生育調査は栽培期間中、主に葉面積指数（LAI）についておこなった。

2. 実験結果と考察

1) 被覆大豆畑の熱収支

実験期間中（4月～8月）における気象状況は、気温については7月以外は平年を上廻り（0.9～1.6℃ほど高温）、降雨量では6月以外は平年の41～45%程度となり、全体としては高温小雨の傾向であった⁷⁹⁾。観測当日は晴天で、6月4日は日射量が $644 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 、7月26日は $592 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった。また、大豆の生育状況については、生育調査を行った6月1日には播種後約37日目にあたり、植被区の主茎長がNo. 2で約30 cm、No. 4では約50 cm となった。

(1) アルベド

各区のアルベドとLAIとの実測値を表3-5に示す。

アルベドに対するマルチの影響として、無植被（No. 1, 3）におけるマルチ区（No. 3）の値をみると、6月と7月ともに9%であったが、裸地状態（No. 1）ではそれぞれ23%、14%とマルチ区に比して大きな値を示した。これは両日の測定時刻における気象状態（特に雲量）の影響も多少考えられるが、マルチによるところが大きいものと思われ、これに関しては上原ら（1976）⁸⁸⁾の黒ビニール被覆においても類似の値が得られている。

一方、植被のある場合（No. 2, 4）では、作物の生育が進んでくるとマルチ区（No. 4）と無マルチ区（No. 2）の

表 3-5 各区におけるアルベド (12:00) とLAI

項目	6月4日				7月26日			
	無マルチ		マルチ		無マルチ		マルチ	
	No.1	No.2	No.3	No.4	No1	No2	No3	No4
アルベド (%)	23	20	9	14	14	18	9	18
LAI	—	0.19	—	0.45	—	2.56	—	3.92

注) No.1: 無植被無マルチ区, No.2: 植被無マルチ区, No.3: 無植被マルチ区, No.4: 植被マルチ区. LAI は1979年6月1日と7月27日に測定

LAI にかかなりの差が出てくるので, マルチの効果は厳密に比較することができない。ただ, 生育の初期である6月の場合, 無マルチ区とマルチ区のアルベドがそれぞれ20%と14%である点から, 植被が多少存在する場合でも, マルチはアルベドを減少させるようである。ところが, 7月になって LAI がかなり大きくなると, マルチの有無にかかわらず, 両区のアルベドはいずれも18%で差がなくなり, アルベドは植被だけの結果となり, マルチの影響はほとんど消失する。

(2) 熱収支項

各区の熱収支項の値を示すと, 表 3-6 のよになる。() 内の数値は, 純放射量 (日積算値) に対する熱収支各項の割合を示している。また, 熱収支各項の符号は, 前述 (第2章第1節) と同様である。なお, 被覆資材の温度変化に使われる熱量は, 微少のため省略し, 大豆植被による貯留熱量も, LAI が最大の時 (6.71) でさえ, $0.01 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ に満たなかったもので, 無視した³⁶⁾。

表 3-6 熱収支項の日量 ($\text{cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

	無マルチ						マルチ						
	No.1			No.2			No.3			No.4			
	Rn	B	L+V	Rn	B	L+V	Rn	B	L+V	Rn	B	L+V	
1979年 6月4日	+	347.4	109.2	240.6	379.8	102.6	278.4	416.4	40.2	378.0	441.6	46.8	395.4
	-	60.0	51.6	10.8	87.0	56.4	31.8	73.8	36.0	39.6	67.2	30.0	37.8
	Σ	287.4	57.6	229.8	292.8	46.2	246.6	342.6	4.2	338.4	374.4	16.8	357.6
	(%)	(100)	(20)	(80)	(100)	(16)	(84)	(100)	(1)	(99)	(100)	(4)	(96)
1979年 7月26日	+	389.4	112.4	280.2	416.4	22.2	394.8	394.8	73.2	324.6	399.6	22.2	377.4
	-	42.0	27.0	18.0	44.4	12.0	33.0	48.0	30.0	21.0	31.2	6.0	25.2
	Σ	347.4	85.2	262.2	372.0	10.2	361.8	346.8	43.2	303.6	368.4	16.2	352.2
	(%)	(100)	(25)	(75)	(100)	(3)	(97)	(100)	(12)	(88)	(100)	(4)	(96)

注) Rn: 純放射量, B: 地中伝導熱量, L: 顕熱伝達量, V: 潜熱伝達量

a. 純放射

日中の純放射量 (正值) は, 地表面の状態に変化するアルベドの大小によって強い影響をうける。マルチの効果をも6月4日の場合でみると, 昼間の純放射量はマルチ区 (No. 3, 4) の方が無マルチ区 (No. 1, 2) より多く, 黒色ポリフィルムの低いアルベドの影響がはっきりしている。7月26日ではそうした傾向は不明瞭になっている。

植被の効果としては, 6月4日の場合, 無マルチ区の植被 (No. 2) と無植被 (No. 1) の純放射量はアルベドとよく対応して, アルベドの小さい植被の純放射量が, その大きい無植被より多い値を示した。しかし, マルチのある区 (No. 3, 4) では, 上記のようなアルベドと純放射量との対応みみられず, アルベドの小さい方 (No. 3)

が純放射量も少ないという結果となった。これは両区の表面温度の違い、すなわち、無植被マルチ区 (No. 3) のマルチ表面温度が 55°C であるのに対して、植被マルチ区 (No. 4) の大豆葉表面温度が 30°C であることから有効放射量の差がアルベドの差以上に大きく純放射量に影響した結果と考えられた。こうした関係は 7 月 26 日の場合でも言える。

一方、夜間の純放射量 (負値) については、明確にマルチや植被の効果がみられる場合もあるが、それらの傾向は必ずしも一定していない。

b. 地中伝導熱量

地中伝導熱量に対するマルチの効果をみると、6 月 4 日の場合、マルチ区 (No. 3) は無マルチ区 (No. 1) より日中で 63%、夜間には 30% それぞれ減少する形で示された。同じことは 7 月 26 日の昼間でもみられ、マルチ区の減少は 35% であった。なお、マルチの効果について 6 月と 7 月ではその程度に若干の差をみたが、これは気象条件の違いによるものと思われる、同じ傾向は前節に述べた場合にも得られている。

次に植被の効果については、6 月 4 日の場合、無マルチ区 (No. 1, 2) の伝導熱量は昼間および日積算値とも無植被 (No. 1) の方が植被 (No. 2) より多く、この傾向は 7 月では一層顕著であった。一方、マルチをした場合 (No. 3, 4)、日中は無マルチ区の場合とは反対に、植被 (No. 3) よりわずかに多かった。これは、無植被の場合、フィルムの植穴が直接風 (平均 3.4 ms^{-1}) にさらされているので、土壌と接地気層との熱交換が促進されるのに対して、植被では莖葉が植穴からの放熱を妨げ、その結果、地表面での温度勾配が大きくなり、地中伝導熱量も大きくなったものと思われる。なお、夜間にはマルチがある場合、植被の方が無植被より放熱が多少小さかった。7 月 26 日の無マルチ区では、植被 (No. 2) の日積算値が無植被 (No. 1) の約 12% にすぎず、マルチ区の場合でも植被 (No. 4) が無植被 (No. 3) の約 38% であり、それぞれ植被繁茂の影響が明瞭にみられた。

c. 顕・潜熱伝達量

マルチの効果としては、6 月 4 日の無植被 (No. 1, 3) の場合、日中の伝導量、すなわち地面から大気への熱の移動はマルチ (No. 3) より無マルチ (No. 1) が少なく、両者の差は約 $137\text{ cal cm}^{-2}\text{ day}^{-1}$ となり、比率でいえばマルチ区の方が 57% 増えている。そして夜間の伝達量である地面での受熱については、上原ら (1976) や前節で述べた植穴のないマルチとは異なり⁸⁸⁾、今回のマルチ区では無マルチ区の約 3.7 倍にも達した。この点については、顕熱と潜熱の分離をしなかったため、その理由は不明であるが、マルチの植穴を通じての熱交換が関連しているものと思われる。

次に、植被の効果としては 6、7 月とも、無マルチ区 (No. 1, 2) の場合、昼間の伝達量は植被 (No. 2) でより大きく、また、夜間における地面への伝達も植被が無植被 (No. 1) より大きな値を示した。同じ傾向はマルチ区 (No. 3, 4) の場合でもみられ、昼間の伝達量は植被によって大きくなったが、その程度は無マルチ区の場合ほどではない。このように、日中においては植被のある時の顕・潜熱伝達量が無植被の場合より大きいのは、大豆の莖葉からの蒸散によることが考えられる。

最後に、フィルムマルチによる大豆畑における熱収支を、熱収支各項の純放射に対する割合でみると、いずれも上記の特徴が現れている。すなわち、地中伝導熱量については、無マルチ区、マルチ区ともに植被 (No. 2, 4) によって地中伝導熱量の割合が無植被のもの (No. 1, 3) より減少しており、顕・潜熱伝達量はその分だけ逆増加している。

2) 大豆畑におけるマルチと植被の効果

(1) マルチの効果

a. 1 日の温度変化における効果

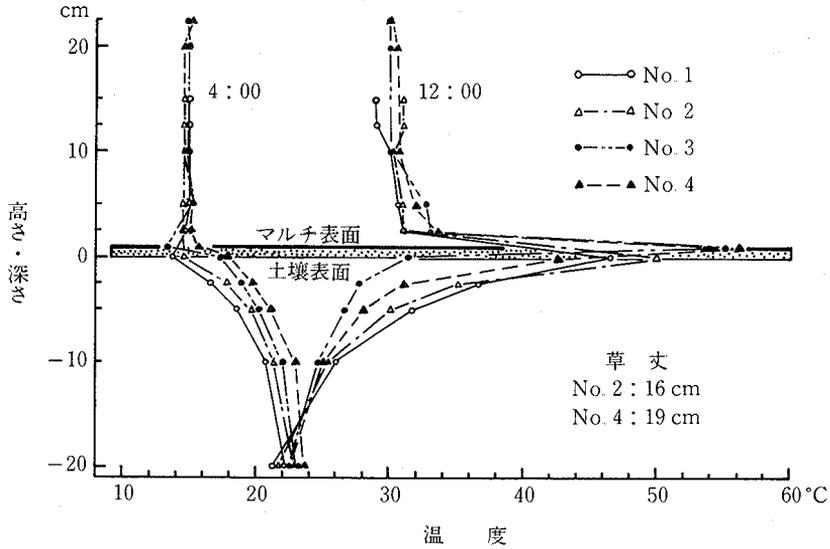


図 3-4 気温と地温の垂直分布 (1979年 6月 4日)

実験期間中の1日観測によれば、いずれもマルチおよび植被の影響が示されている。

すなわち、6月4日の垂直分布でみると、図3-4のようになる。まず、日中(12時)におけるマルチの効果として無植被(No. 1, 3)の気温分布をみると、マルチ区(No. 3)が無マルチ区(No. 1)より2.5~15cmで約1°C高い程度であった。しかし、マルチ下の地表面温度は31.5°Cを示して、無マルチ区の地表面温度より15.0°Cも低かった。マルチの表面温度が55°Cまで上昇していたことからみると、これは黒色ポリフィルムマルチの典型的な特徴と言えるが、気象条件によってそれらの関係が逆転する場合もありうる(第3章第3節)。また、植被(No. 2, 4)についても同様なマルチの効果が示された。この時の無マルチ区(No. 2)とマルチ区(No. 4)の地表面の温度差は7.5°Cで、無植被の場合の1/2程度であった。

次に、地下10cmにおける日中の地温の高低はNo. 1>No. 2>No. 4>No. 3の順になり、無マルチ区(No. 1, 2)の地温上昇が目立ち、マルチは日中の地温に対しては6月上旬の場合、抑制的に作用した。また、マルチ区(No. 3, 4)における植被の影響としては、植被区(No. 4)が無植被区(No. 3)より深さ10cmまで高温であった。これは前項でも述べてあるように、マルチの植穴からの熱交換量が無植被の場合、植被区より大きかったためであろう。さらに、植被のある時にはマルチ区の方が無マルチ区よりLAIがかなり大きいので、その影響も加えられていると思われるが、マルチ区の地温が無マルチ区より低いという傾向は無植被の場合と同様である。

なお、地下15cm以下における各区の地温の高低関係は、表層部と異なっている。これはCLARKSON(1960)⁵⁾も指摘しているように、実験当時のマルチによる地温効果と、植被による地温効果の限界、つまり、一種の平衡状態が深さによって異なっていることを示したものと考える。

ついで、夜間(4時)の接地気温でみると、昼間の場合と違って各区とも大同小異で、マルチや植被の影響はほとんどみられなかった。しかし、地表面温度ではマルチ区(No. 3, 4)が2~3°C、無マルチ区(No. 1, 2)より高く、これは夜間温度に対するマルチの放熱抑制効果と言えよう。

また、マルチの有無にかかわらず、植被区が無植被区より若干高温となっており、こうした傾向は地温においても示された。すなわち、地下部における各区の温度の順位は、いずれもNo. 4>No. 3>No. 2>No. 1となっており、マルチ区(No. 3, 4)は無マルチ区(No. 1, 2)に比し、植被の有無にかかわらず温度低下の抑制がみられると同

時に、植被による地温上昇の抑制効果も多少認められるようである。

ところで、地温(6月4日)について調和分析の結果を示すと表3-7のようになる。これから日平均値(a_0)をみると、全般的にマルチ区(No. 3, 4)の地温上昇は余りみられず、例えば、無植被の場合、マルチ区(No. 3)は裸地状態(No. 1)より多くの深さで地温は低くなった。しかも、これは黒ポリを用いた前節の結果とは逆の関係である。この差異は、植穴の有無と何らかの関係があるものと考えている。すなわち、別に裸地区、黒ポリ被覆区、黒色有孔ポリ被覆区の3区を設け、約4カ月間(4月~7月)、地温(地下5cm)を連日観測し、期間中の平均地温として、それぞれ20.8, 22.9, 21.7°Cのすなわち、黒色ポリ被覆区>黒色有孔ポリ被覆>裸地区の順位を得ている⁷⁴⁾。ところが、昼間平均地温、最高地温について各区間の高低関係は、期間中、大体、黒色ポリ被覆区>裸地区>黒色有孔ポリ被覆の順序であった。こうしたマルチ効果の差異については、HARRIS(1965)¹³⁾も指摘しているが、その微気象機構については明確でない。

表3-7 各区における地温の調和分析結果(1979年6月4日)

深さ (cm)	無マルチ						マルチ					
	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
	a_0	a_1	ϵ_1									
0	27.3	16.0	253	28.5	16.8	258	23.2	6.4	247	27.1	11.3	249
2.5	25.9	10.6	236	26.0	9.4	236	23.2	4.8	231	25.3	6.3	227
5	25.4	8.2	222	25.4	6.9	220	23.6	4.0	219	25.2	4.9	212
10	24.5	5.1	197	24.5	4.4	193	23.9	2.7	191	25.0	3.1	183
20	23.0	2.1	148	23.2	1.9	144	23.8	1.3	144	24.2	1.5	135

注) a_0 : 平均値(°C), a_1 : 1日項(°C), ϵ_1 : 位相角(度)

b. 半旬地温における効果

実験期間中のマルチによる地温上昇の効果(地下5cm)を、無植被(No. 1, 3)の割合について日射量との関係(半旬値)でみた。それによると、最高地温と平均地温では日射量との間に相関性はみられれば、最低地温においては次式が得られた。

$$T_a = 0.27 \cdot 10^{-2} \cdot R_s + 0.59 \quad (r=0.67^{**}) \quad (3-1)$$

ただし、 T_a は最低地温の差(No. 3-No. 1, °C), R_s は日射量($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$)を示す。

また、その後の実験結果においてもこれは再確認され、(3-1)式とほぼ同様な関係が得られている。しかし、これに関しては、普通の黒ポリを用いた前節の場合、最高地温と平均地温が日射量と高い相関をもっているのを見たが、最低地温では相関性があまりなかった。この原因として、植穴のない通常のマルチでは日射量の大小には無関係で、裸地の最低地温に対して一定の保温効果があるけれども、植穴のあるマルチでは部分的に裸地条件も加わっていることから、晴天日における日中の日射が夜間における放射冷却を通じて影響し、地温差が生じたものと考えている。

次に、日射量以外の各気象要素との関連も明らかにすることも必要と考え、各気象要素の総合化されたものとしての蒸発量を求め⁹⁾、それと地温差の関係を求めると、次式のようなになる。

$$T_{max} = -0.65 \cdot E_s + 6.81 \quad (r=0.68^{**}) \quad (3-2)$$

$$(T_{min} = 0.03 \cdot E_s + 1.61) \quad (r=0.14) \quad (3-3)$$

$$T_{mean} = -0.24 \cdot E_s + 3.54 \quad (r=0.60^*) \quad (3-4)$$

ただし、 T_{max} , T_{min} および T_{mean} は半旬平均の最高, 最低, 平均の地温差(No. 3-No. 1, °C), E_s は裸

地状態 (No. 1) における半旬平均の紙面蒸発量 (mm) である。

これによると、蒸発量の少ない気象条件ほど、最高地温と平均地温の差はともに大きくなり、マルチの効果が顕著になるといえる。すなわち、植被のない場合、マルチの地温成立には、日射以外の微気象条件が植穴を通じて大きく関与し、それが日中の地温と日射量との関係において通常のマルチの場合と異った傾向を示すことになったものと思われる。したがって、植穴における熱交換の量的決定が今後の問題として求められる。

(2) 植被の単独効果

植被のみの効果をみるため、マルチ区、無マルチ区のそれぞれについて、植被区と無植被区の差を、地温 (地下 5 cm) の半旬値で求め、日射透過率との関連を一次式で近似させると (有意水準 1%)、次式のようになる。

$$\text{無マルチ区} \quad \text{Max.} \quad D_T = 12.88 \cdot T_R - 9.59 \quad (3-5)$$

$$\text{(No. 2~No. 1)} \quad \text{Min.} \quad D_T = 2.75 \cdot T_R - 1.10 \quad (3-6)$$

$$\text{Mean} \quad D_T = 6.19 \cdot T_R - 4.37 \quad (3-7)$$

$$\text{マルチ区} \quad \text{Max.} \quad D_T = 23.07 \cdot T_R - 13.57 \quad (3-8)$$

$$\text{(No. 4~No. 3)} \quad \text{Min.} \quad D_T = 8.71 \cdot T_R - 2.89 \quad (3-9)$$

$$\text{Mean} \quad D_T = 14.37 \cdot T_R - 7.14 \quad (3-10)$$

ただし、 D_T は無マルチ区とマルチ区における地温差 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_R は植被区 (No. 2, 4) の畦面上での日射透過率である。

これから、植被は無マルチ区、マルチ区のいずれにおいても大きな影響をおよぼしていることがわかる。すなわち、植被の発達は、畦面上の日射の減少を伴い、したがって地温は最高、最低、平均とも無植被の場合 (透過率 100%) より低下することは言うまでもない。ただ、最低地温に対しては前節と同様、植被の保温効果が顕著であり、マルチ区、無マルチ区とも透過率が 30~40% 以上になると、それがみられるようである。

次に、植被の単独効果をマルチの有無で比較すると、マルチ区の効果の大きいことが、式中の変化係数で示されている。たとえば、透過率が 23% を示す植被の場合、無マルチ区の最高地温では -6.6°C の地温差 (No. 2~No. 1) で植被区が低い。これに対して、マルチ区ではその差が -8.3°C (No. 4~No. 3) で、マルチの有無による植被の効果には、この場合 1.7°C の差がある。同じく、平均地温でもそれは -2.9°C としてみとめられる。これにはマルチの有無にもとずく土壌含水率の差、つまり土壌熱容量の差異が地温差として現れたものと考えられる。実験期間中の土壌含水率の平均値は No. 1: 16.8% (CV 20.5), No. 2: 16.1% (同 30.3), No. 3: 19.6% (同 11.2), No. 4: 17.1% (同 16.6) であった。

さらに植被の効果を、寒冷紗による植被模型の場合 (前節) と比較してみることにする。模型では透過率 23% の場合、マルチ区、無マルチ区とも対照区に対する地温低下は、それぞれ -4.2 , -4.4°C でほぼ同じ程度であった (対照区地温が 35°C の時)。しかし、大豆植被の場合、その単独効果については、前述のよにマルチの有無による差が認められた。こうした植被と模型の違いによる効果の差は、主に土壌水分による土壌容量の差によるものと考えられる。すなわち、大豆植被の場合、前述したように平均土壌含水率は無マルチ区とマルチ区 (No. 1, No. 2 と No. 3, 4) のそれぞれにおいて区間差は僅少で、かつ比較的低い含水率であった。しかし、植被模型の場合にはどの区も 24.4% 以上の高い含水率で、しかも、無マルチ区よりマルチ区の方が約 6% 程高く経過していた。

(3) 植被とマルチの複合効果

植被にマルチが加わった場合の地温の複合効果を半旬値で日射透過率との関係で示すと図 3-5 のようになる。ただし、ここでは植被とマルチの複合効果 (No. 4~No. 1) を比較するため、マルチ区における植被の単独効果

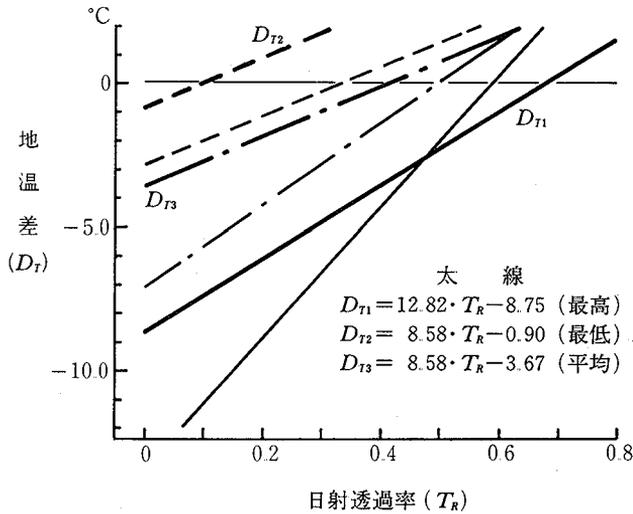


図 3-5 地温差 (No. 4-No. 1, 地下 5 cm) と日射透過率との関係
細線は (3-8), (3-9), (3-10) 式。

(No. 4-No. 3) を示す三つの式 (式 3-8, 3-9, 3-10) も図中に細線で示した。

これによると、マルチ区の植被下では、植被のみの場合と植被+マルチの場合とでは、地温効果の程度が異なるだけでなく、その効果の様相もかなり違っている。例えば最高地温では、複合効果における透過率の変化係数は 12.8 であるが、植被のみの場合 (式 3-8) は 23.1 で、両者には大きな差がある。しかもその両式から、これは実際の植被繁茂下においては、マルチが最高地温の変化に対して一種の緩衝として作用することを意味する。

また、最低地温では、植被とマルチの複合効果は植被単独の直線を y 軸正方向へ平行移動しただけであるので、これは保温性の増大を示している。さらに、平均地温でも地温に対する複合効果はみられるが、それは透過率が約 40% 以下の場合に限られる。

次に、マルチ区について植被と植被模型 (前節) を比較してみると、若干異なった傾向がある。すなわち、大豆畑における植被とマルチの複合効果は、最高温度の場合、日射透過率が 70% 以下の時に地温の低下として現れる。それに対して、植被模型を用いた複合効果は、それが 12% 以下でないとみられない。また、最低地温の場合、大豆の植被が透過率 10% 以下で保温効果が示されているのに、模型では透過率に無関係でその効果がみとめられる。さらに平均地温でも、大筋は最低地温の場合と類似の傾向がみとめられた。

こうした実際の植被と寒冷紗による莖葉模型の地温に対するマルチとの複合効果の違いについては、その原因をはっきり示すことは困難である。ただ、両実験における土壤水分や熱収支項、特に潜熱伝達量の差などが著しいので、これらが他の微気象条件と共に大きな関係をもっているのかも知れない。

(4) 地温の日較差比による植被とマルチの効果

植被およびマルチの地温 (地下 5 cm) におよぼす単独および複合効果について、半月平均の日較差比を用いて検討した。各日較差比 No. 3/No. 1 はフィルムマルチによる効果、No. 2/No. 1 と No. 4/No. 3 は無マルチ区、マルチ区における植被の効果、そして No. 4/No. 1 は植被とマルチの複合効果をそれぞれ意味するものと考えられる。

まず、マルチの効果としては、地温日較差比と日射量とは実験期間中比較的よく対応して、次式で表すことができる。

$$R = -0.07 \cdot 10^{-2} \cdot R_s + 1.34 \quad (r=0.50^*) \quad (3-11)$$

ただし、 R は地温日較差比 (No. 3/No. 1 地下 5 cm)、 R_s は日射量 ($\text{cal cm}^{-2} \text{day}^{-1}$) を示す。

これによると、日較差比は日射量の増加に伴って、わずかつつ減少することになる。日射量が $486 \text{ cal cm}^{-2} \text{day}^{-1}$ では日較差比が 1.00 となり、日較差比からみたマルチの効果は消滅する。逆に日射量の無い極端な場合 (仮定) には、日較差比は 1.34 にもおよぶことになる。

これを、前節の植穴の無い場合と比較すると、両者には相違がある。すなわち、前節のマルチ区では、日射量の増加に伴って日較差比が大きくなり、マルチによる地温変動の幅も増大していたが、詳細については今後検討していく必要がある。

次に、植被の効果としての地温日較差比と日射透過率との関係を求めると、図 3-6 のようになる。

これによると、透過率の程度、つまり繁茂度と日較差比とはかなり相関が高い。植被の効果を示す日較差比のうち、マルチをした場合 (R_2)、生育初期には同じ透過率であっても日較差比は無マルチ区 (R_1) より大きい。しかし、生育が進んで、透過率が 40% ($LAI \approx 1.0$) 以下になると日較差比と透過率の関係は逆転し、マルチ区の方が無マルチ区より日較差比は小さくなり、地温の変動幅も縮少するようになる。

これらを、模型の場合 (前節) に比較してみると、今回の透過率増大に伴う日較差比の上昇率が 0.85 ~ 1.27 であるのに対して、植被模型の上昇率は約半分程度にすぎない。このような植被と模型の違いによる日較差比の上昇率の差異は、(2) に前述したように畦の土壤水分が関係しているものと考えられる。

さらに植被とマルチの複合効果を示す関係 (R_3) では、日射の透過率に対する日較差比の上昇率は 0.94 で、これはマルチ区と無マルチ区の間であって日較差比も大きなものではない。全体的にこの場合の日較差比は、植被単独の場合 (R_1 , R_2) に比べて小さく、植被にマルチが加わると裸地状態の地温よりさらにその変動幅が小さくなるようである。

最後に、葉面積と透過率および地温日較差比との関係をみると、図 3-7 のようになる。まず、日射の透過率と LAI との関係を見ると、それは指数関数的である。田辺ら (1973)⁹²⁾ もこれらと同様な傾向をナスの植被で得ており、植被の繁茂が進む場合、日射の透過率に対する植被の効果は LAI の小さい時ほど大きい。また、地温日較差比と LAI との関係から、無マルチ区、マルチ区における植被の効果を見ると、マルチの有無ではあまり差がないように見える。しかも、植被の影響は生育初期ほど大きく、生育がかなり進んで $LAI \approx 5.0$ (透過率は約 30%) になってようやくその比が一定になる。ところが、中山・菅原 (1968)⁵⁵⁾ は、 LAI が 2.0 以上になるとマルチ効果が十分でなくなるとしている。こうした結果との不一致は、実験条件の差に基づくものと考えられる。すなわち、中山・菅原 (1968)⁵⁵⁾ はライシメーターを用いているため、地下水位が本実験の場合より高いと考えられること、土質の違い²⁾、栽植密度の差、さらにマルチ被覆率と資材の違い (植穴の有無) など、多くの条件に相違のあることが結果の不一致をもたらしたのと考えている。

このようにマルチと植被の単独効果および両者の複合効果を、1 日の温度変化、半旬平均の地温差および日較

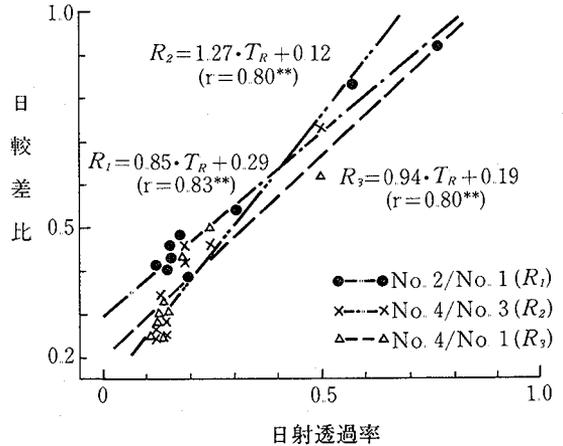


図 3-6 日射透過率 (T_R) と地温日較差比 (R_1 、 R_2 , 地下 5 cm) との関係

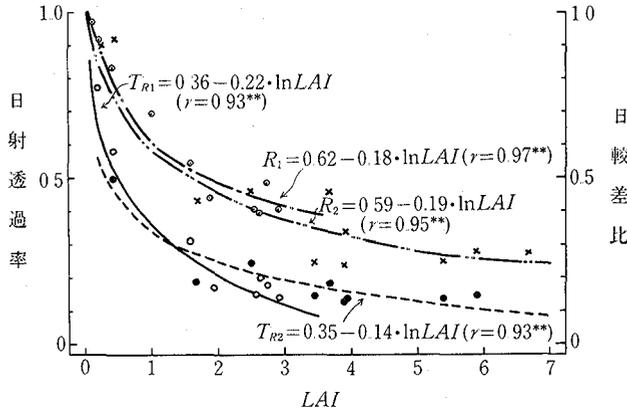


図 3-7 LAI と日射透過率, 地温の日較差比との関係

T_{R1} , T_{R2} はそれぞれ No. 2, No. 4 での日射透過率, R_1 , R_2 は地温の日較差比 (No. 2/No. 1, No. 4/No. 3).

差の面から示すことができた。その結果, 有孔フィルムによるマルチの地温効果は, 日射量以外の微気象要因も大きく影響をおよぼしていること, 植被の効果はその生育が進むにつれて地温の変動をむしろ抑制するようになるが, その程度はマルチの有無で若干異なること, さらに両者の複合効果は, マルチと植被のそれぞれの単独による地温変動より小さく現れること, などである。また, 大豆の植被による結果を, 寒冷紗による植被模型の場合に比較してみると, いくつかの特徴がある。第 1 としてマルチと植被の複合効果をみると, 大豆の植被では透過率の減少による地温の低下度は模型の場合に比べ大きい。第 2 には, 日射の透過率の増大に伴う日較差比の上昇率が, 植被の方が模型より著しく大きいことである。しかし, いずれの効果も, 地温の効果に対する傾向としては一致している。

以上, 述べてきたように, 畦面被覆栽培においては, 大豆作物の茎葉繁茂はそこでの熱収支関係を徐々に変え, それが地下環境, 特に地温にも大きく影響をおよぼすことが明らかになった。さらに植穴のあるポリフィルムでは, 従来の無孔ポリフィルムとは異なって, 夜間の顕・潜熱伝達量が増大されること, 地温 (平均) も裸地に比べて低く経過し, それらの地温効果には日射量の外に, 他の微気象要因もかなり関係しているように思われる。

また, ここでは大豆の植被によるマルチ効果を述べたが, その効果は植被の種類によっても異なることが考えられる。そこで, 茎葉の繁茂が大豆とは異なり, 水平的に生育する甘藷を用いて検討した結果, 第 1 節, 2 節で述べた結果と基本的には一致しているが, 大豆植被と異なることは, 茎葉の繁茂度と微気象要因との関連性が明らかでない点が多かったことが判明している。

第 3 節 要 約

フィルムマルチにおける植被とマルチの畦間気象に対する個々の効果, 及び植被とマルチの複合効果を主として地温の面から述べてきた。得られた点について, 植被の種類によって述べると下記のごとくである。

A. 植被模型による場合

使用したフィルムは黒色ポリエチレンフィルム (厚さ 0.04 mm) で, 植被模型は寒冷紗により, 日射の透過率を 6 段階に制御して実際の植被を模した。実験区はマルチのあるマルチ畦と, それの無い無マルチ畦に大別し, それぞれの畦に植被模型を設置した。実験期間中 (1977 年 8 月—12 月), 熱収支, 地温 (地下 5 cm), および土壌水分 (地下 5 cm) を連日観測した。

(1) 黒色ポリエチレンフィルムの畦面マルチによる熱収支特性は、純放射量の昼間量、日積算値ともに増大し、さらに顕熱伝達量として使われる割合の増加することである。

(2) 地温に対するマルチ単独の効果として、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、一定の保温効果が認められた。

(3) 植被模型が地温に及ぼす効果はマルチの有無によって異なり、若干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のは、無マルチ畦より低温な場合である。

(4) 植被模型とマルチの複合効果についてみると、昼間の最高地温ではマルチあるいは模型単独の効果とは若干異なっており、模型による透過率が23~56%の区では日射抑制による地温の低下が、マルチによる地温上昇と相殺される。しかし、6~12%の区では、地温の低下は対照区裸地の地温が高温になるほど大きく、対照区が約12°C以下になると、日射抑制の効果も極めて小さくなる。

B. 植被による場合

使用したフィルムは、黒色有孔ポリエチレンフィルム（厚さ0.04 mm、植穴の径5.5 cm）で、大豆は“大振袖”（中生）を用いた。実験区は、マルチのない無植被無マルチ区（No. 1）と植被無マルチ区（No. 2）およびマルチのある無植被マルチ区（No. 3）と植被マルチ区（No. 4）で、1979年の4月より8月にかけて実験圃場の熱収支、接地気温、地温、土壌水分等の微気象観測、及び大豆の生育調査を行った。

(1) 植穴のある無植被マルチ区（No. 3）では、特に夜間の顕・潜熱伝達量が大きく、無植被無マルチ区（No. 1）の約3.7倍（6月4日）にもおよんだ。植被の効果としては、その繁茂度によって熱収支は大きく影響を受け、マルチの有無にかかわらず、植被がある大きさに達すると、熱収支各項の純放射に対する割合がほぼ一定してくる。

(2) マルチの地温（地下5 cm）に及ぼす影響を日射量との関連でみると、最低地温では日射量が多くなるほど地温が上昇する正の相関がみられた。最高地温と平均地温では、蒸発量との間に相関が認められ、いずれも蒸発量が少ないほど地温上昇が顕著であった。

(3) 植被の単独効果を、畦面上の日射透過率との関連でみると、透過率23%の場合、植被の効果は無マルチ区におけるよりマルチ区の方が1.7°C（最高地温）も大きかった。

(4) 植被とマルチの複合効果を地温でみると、マルチは最高地温に対しては一種の緩衝作用を有して、温度変化を小さくしており、最低地温においては植被単独の場合より保温性が増加する。

(5) マルチの効果を地温の日較差比（処理区/対照区）で示すと、マルチにおいては日射の増加に伴って日較差比は減少し、日射量が $486 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ で効果は消滅した。植被、および植被とマルチの複合効果を地温と日射透過率との関係からみると、両者間の相関（正）は高く、また、透過率の程度、つまり茎葉の繁茂度が同じ場合（40%以上）、マルチ区の方が無マルチ区より日較差比が大きかった。植被とマルチの場合では、日較差比はさらに小さくなった。

C. 植被模型と大豆植被の差異

植被模型による効果と大豆植被による効果を比較してみると、幾つかの差異がみられた。すなわち、模型の場合、透過率23%の時、マルチ区、無マルチ区とも対照区に対する地温低下はそれぞれ -4.2°C 、 -4.4°C でほぼ同じであった（対照区地温 35°C の時）。しかし、大豆植被の場合、その単独効果についてはマルチの有無による差が認められ、その原因は主に土壌水分による土壌熱容量の差によるものと考えられた。この植被模型と大豆植被間の差異は、さらに植被+マルチの複合効果、地温の日較差比においてみられたが、いずれの場合も植被が地温に及ぼす影響は両者とも傾向として一致していた。

第4章 被覆栽培施設におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響

第1節 トンネル栽培における場合

1. 被覆栽培施設とマルチ

前章では、露地における植被模型と大豆植被に対するフィルムマルチにおいて、それらの地温に対する植被単独の効果、及びマルチと植被の複合効果について、熱収支と地温の面から検討を加えた。しかし、トンネル、ハウス等においてマルチ栽培が盛んであるにもかかわらず、トンネル・ハウスにおけるこうした観点からのフィルムマルチに関する報告は見当たらない。

そこで、ここではそれらマルチと植被模型の影響を、トンネル内と露地とで比較した。また、トンネル被覆については大根を栽培して、実際の植被による効果もみた。

2. 実験観測の設備と測定方法

実験は、1981年1月より4月にかけて行った。実験区は露地とトンネルの二つを設けて、次のA、B、C、D区を設定した。

- A：露地マルチ・植被模型区 (No. 1~No. 7 ブロックに分割, 対照区は No. 1, No. 7)
- B：トンネルマルチ・植被模型区 (No. 8~No. 14, 対照区は No. 8~No. 14)
- C：トンネルマルチ・植被区
- D：トンネル無マルチ・植被区

なお、植被模型は表4-1に示しておいたように、日射透過率の程度によってNo.の区分をした。

表4-1 各区における処理

区		マルチ	植穴	寒冷紗枚数	日射透過率	ダイコン植被
露地	トンネル					
A	No. 1	*	*	0	100	*
	No. 2			1**	75	
	No. 3			1	63	
	No. 4			2	39	
	No. 5			4	12	
	No. 6			0	100	
	No. 7			0	100	
	C	*	*			*
	D		*			*

*: 処理; マルチ資材として黒色ポリエチレンフィルムを使用 (植穴は径5.5cm)。

** : 寒冷紗のメッシュを拡大。

畦 (畦長 5.5 m, 畦幅 75 cm, 畦高 20 cm) はすべて東西方向にし、黒色ポリエチレンフィルム (幅 135 cm, 厚さ 0.04 mm) を用いて畦面を被覆した。なお、AとBの植被模型区の一部 (No. 7, 14) 並びにDの植被区については無マルチ区とした。また、No. 6, 13のマルチには径5.5 cmの植穴がある (20×30 cm)。各区のトンネルは、長さ6 m, 幅80 cm, 高さ55 cmの空間を、透明ポリフィルム (幅2.1 m, 厚さ0.03 mm) で被覆した (保温比0.37)。実験区A、Bの植被模型は、黒色の寒冷紗 (テイジン AE 135, T-600) を各区の畦面上10 cmの高さに木枠 (60×100 cm) で水平に固定し、茎葉による日射の抑制を寒冷紗の遮蔽で代用した。

C、D区の遮蔽には、大根“旭光春青”を用いた。

実験期間中、地温、土壌水分及び蒸発量を連日観測した。地温は熱電対（銅—コンスタンタン、径0.5mm）を使用し、土壌水分は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）により、どちらも地下5cmに埋設した。土壌水分は連日9時に値を読み、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取った。蒸発量は、平田式紙面蒸発計を露地（AのNo.7）の畦面に設置し、連日9時に測定して、前日との差を当日の蒸発量とした。日射透過率は、管型日射計並びに農試電試型日射計（中野製作所）を用い、各畦の中央部に設置した。

熱収支項の測定は、露地の実験区A（No.1とNo.7）で行い、純放射計（CN-2型、英弘精機）を畦面上50cmに設置し、地中熱流板（CN-8型、英弘精機）は約1mm覆土して使用し、それぞれデータ収録装置（mini YODAC-E、横河電気）に接続、記録させた。

大根の栽培は、実験区CとDに株間20cm、条間30cmの栽植距離で行い（播種、1月12日）、4月27日に収穫した。この期間の栽培管理は慣行に準じた。

2. 実験結果と考察

1) 実験期間中の気象状況

実験期間中の気象状況についてみると、気温は1月と2月に平年値（1月4.7°C、2月4.8°C）より0.7～1.6°C低く経過し、3月（平年値7.4°C）と4月（同12.9°C）には逆に0.4～0.3°C程度高かった⁸⁰⁾。降雨は1月に平年値（47.9mm）の約1/8、3月（79.9mm）には約半分であった。日射量についてはほぼ平年並であった。このように、全体として期間中は小雨傾向であったが、気温並びに日射量はほぼ平年値に近く、大根の生育に異常をもたらすものではなかったと考えている。

2) 露地におけるマルチの有無と熱収支

マルチの効果をみるため、日射を全く抑制してない露地（A区）のマルチ（No.1）と無マルチ（No.7）において、放射状態を比較した。

24時間観測による当日の日射量は、それぞれ341 cal cm⁻² day⁻¹（2月11日）、448 cal cm⁻² day⁻¹（3月17日）であった。両区のアルベドは、マルチ（No.1）で7.2%（4月18日12時の測定値）、無マルチ（No.7）で13.2%となり、マルチは無マルチのほぼ半分にすぎなかった。

次に熱収支項の値を表4-2に示した。なお、これら熱収支項の符号は、前述（第2章第1節）と同じである。

表によると、昼間の純放射量（正值）および日積算純放射量（Σ）は、いずれの月もマルチの方が16～58%ほど多く、黒色ポリフィルムの低いアルベドの影響がみられる。一方、夜間にはマルチと無マルチ間の差は一定せず、2月11日にはマルチは無マルチの16%増、3月17日には5%減となった。

地中伝導熱量では、昼間および日積算値とも無マルチ>マルチの関係となり、この原因は、フィルムと土壤表

表4-2 露地(A区)における熱収支項の日量 (cal cm⁻² day⁻¹)

		マルチ (No. 1)			無マルチ (No. 7)		
		Rn	B	L+V	Rn	B	L+V
1981年 2月11日	+	240.6	25.4	215.5	173.7	70.6	103.9
	-	93.6	38.8	55.1	80.9	50.6	31.1
	Σ	147.0	-13.4	160.4	92.8	20.0	72.8
1981年 3月17日	+	314.9	53.5	262.9	261.1	95.0	166.2
	-	78.2	47.5	32.2	82.5	53.9	28.7
	Σ	236.7	6.0	230.7	178.6	41.1	137.5

注) Rn: 純放射量, B: 地中伝導熱量, L: 顕熱伝達量, V: 潜熱伝達量

面が完全に密着しなかったことから、そこでの空気層が、フィルムから土壌表面への熱伝導量を妨げる一種の断熱作用をしたためであろう。また、夜間の地中より地表面への熱伝導量は、無マルチの方がより大きかった。

顕・潜熱伝達量の日積算値(Σ)は、マルチの方が無マルチより日中で58~107%多かった。しかもマルチの場合、潜熱伝達量が零に近いと思われるので、地中伝導熱量の少ないこともあって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被覆によって、純放射の昼間および日積算量とも増大すること、顕熱伝達量として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になり、前章(第3章第1節)の場合と傾向が一致している。

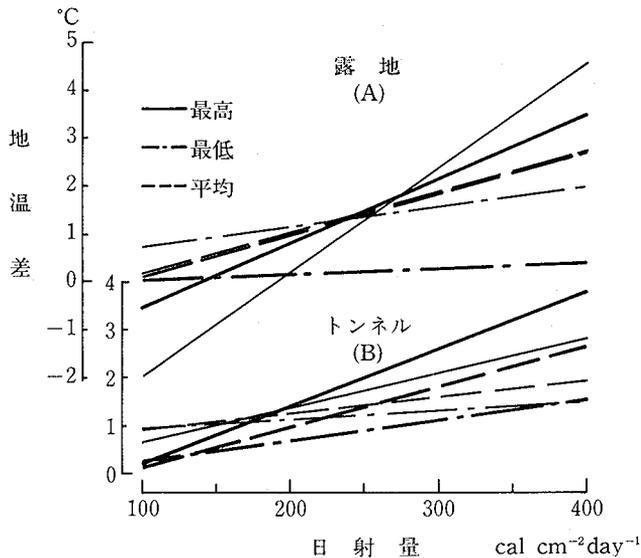


図4-1 地温差(マルチ区-無マルチ, 地下5cm)と日射量との関係
太線:露地(No.1-No.7),トンネル(No.8-No.14).
細線:露地(No.6-No.7),トンネル(No.13-No.14).

3) マルチと植被模型による地温効果

(1) マルチの効果

露地のトンネルにおけるフィルムマルチの地温効果をみるため、それらの半旬平均の最高、最低および平均地温についてマルチと無マルチの地温差を求め、それと日射量との関係を図4-1に示した。図中の太線は、無孔のフィルムマルチの地温と裸地のそれとの差(露地:No.1-No.7,トンネル:No.8-No.14)であり、細線は有孔のフィルムマルチの地温と裸地のそれとの差(露地:No.6-No.7,トンネル:No.13-No.14)を示している。

無孔マルチについてみると、露地とトンネルの地温が日射量と良い対応をしており、いずれも日射量が多くなるほど、マルチによる地温上昇は顕著である。

トンネルでは日射量の増大に伴う地温差による上昇率は、露地とほぼ同じ傾向で、変化係数は最高地温: 1.2×10^{-2} , 最低地温: 0.44×10^{-2} , 平均地温: 0.85×10^{-2} であり、トンネルの最低地温における変化係数は露地の2倍程度であった。また、マルチが無マルチより地温が上昇する時の日射量の限界は、最高地温: $81 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 最低地温: $41 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$, 平均地温: $84 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ となり、トンネルの最高および最低地温では、露地よりも比較的少ない日射量で昇温効果が得られる。

次に、植穴のある有孔マルチでは、露地の場合、最高地温差は、無孔のフィルムの場合よりも大きい。最低地

温でも、最高地温の場合とほぼ同じであるが、地温差は若干無孔マルチよりも有孔マルチの方が大きい。平均地温では、有孔マルチと無孔マルチの差はほとんど無いようである。

トンネルの最高地温については、有孔マルチの方が無孔マルチよりも小さく、露地の場合と逆の関係である。最低地温は露地の場合とほとんど同じで、勾配の差は少ないが、地温差そのものは有孔マルチの方が大きい。平均地温では、日射量の増大に対する地温差の経過は有孔フィルムの方が無孔フィルムのマルチよりも緩慢である。

以上、1月より4月までの実験期間中、植穴の有無によって地温の高低関係が逆転する場合もあることが、今回も得られている。トンネル内では露地におけるよりも比較的少ない日射量でマルチの昇温効果が得られるこぎが判明した。

次に、上記に述べたマルチによる地温効果を日射量以外の各気象要素との関連で明らかにすることも必要と考え、各気象要素の総合化されたものとしての蒸発量を求めたが、これまでの無孔マルチ、有孔マルチによる場合と比較して（第3章）、無孔マルチの場合は今回とほぼ傾向は等しい。しかし、有孔マルチの地温差と蒸発量との関係は、最高地温、平均地温ともに負の相関であり、今回の場合とは異なる。

この差については主に、実験実施時期における季節の相違が考えられる。今回の場合は1月から4月にかけての寒候期であったが、前回の有孔マルチ（4月～8月）と、無孔マルチ（5月～10月）はいずれも暖候期に実験を行った。これに関しては次節でも述べるが、1980年12月より翌年の7月にかけて同様な実験を行い、各月ごとに有孔・無孔マルチの裸地に対する地温差と、蒸発量との関係を求めた結果、有孔マルチについては月ごとの傾向は必ずしも一定しなく、蒸発量との関係が負の相関である場合もあったが、無孔マルチでは各月とも傾向は一定していることを確認している。

(2) 植被模型の効果

a. 半旬平均値

地温に対する植被模型（露地：No. 2～5、トンネル：No. 9～12）による日射量抑制の効果は、植被の無い対照区（露地：No. 1、トンネル：No. 8）との比較で示した。露地とトンネルにおける日射抑制の処理区と対照区の地温差と、対照区の地温との関係を回帰式を基にして求め、図4-2に示した。

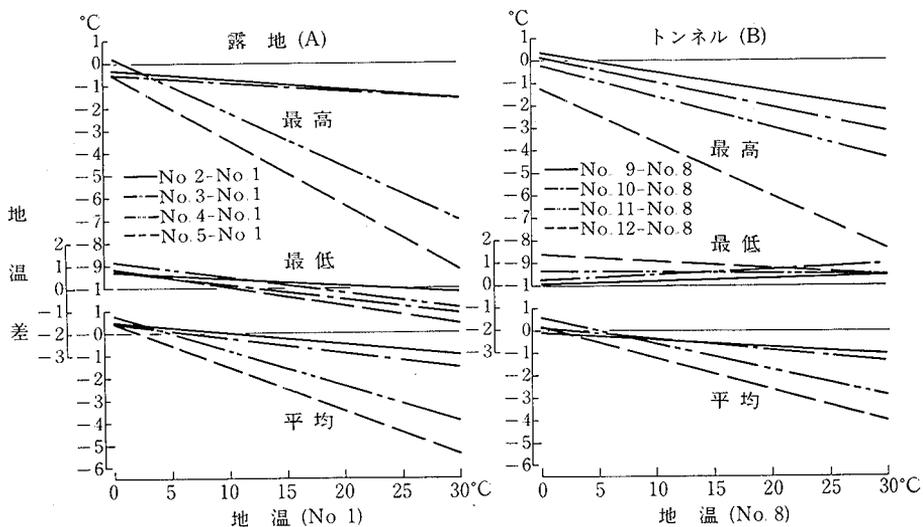


図4-2 各地温差（処理区-対照区）と対照区の地温との関係（地下5cm, 半旬平均）
対照区：露地；No. 1, トンネル；No. 8.

a-1 露地の場合

最高地温（1月～4月，No.1では6.9～31.0°Cの変動幅）では，対照区の地温が高いほど，日射を抑制した各区と対照区との地温差，つまり，処理区の地温低下が大きくなる。

最低地温（同上0.7°C～11.8°C）では，各処理区と対照区との地温差が比較的小さく，期間中，どの区も±2°C以内で，また，処理区によって多少の違いはあるものの，大体10°C以下になれば遮蔽による保温効果がどの区でも示されるようになる。

平均地温（同上3.0～17.0°C）では，対照区が5°Cまで低下すると，遮蔽による区間差は不明確になる。

以上，露地における植被模型の地温に及ぼす効果は，前述（第3章第1節）と同様，昼間では対照区の地温がかなり低くなっても認められる。

a-2 トンネルの場合

最高地温（1月～4月，No.8では7.7～26.6°Cの変動幅）について遮蔽の効果をみると，露地の場合とほぼ同じ傾向である。ただ，透過率が63～75%（No.10,11）では露地の場合より，対照区の地温が上昇することによる処理区の地温低下が若干大きい。

最低地温（同上-1.0～9.4°C）では，各区の地温差は露地と同じで，すべて±2°C以内で推移した。しかし，露地と異なる点は，対照区の地温のほぼ全域において地温差は正であり，このことからトンネル内では露地の場合より，マルチ区は最低地温の保温効果が大きいと言える。

また，保温効果が大きいことは土壤水分が高いことによっても裏付けられ，表4-3には各区の土壤含水率の推移を示してある。

表4-3 土壤水分の季節変化（%，地下5cm）

区	1月17日	1月22日	1月27日	2月1日	2月6日	2月11日	平均	
A	No. 1	26.6	28.2	28.9	31.2	29.3	31.4	29.3
	No. 6	20.8	21.6	23.5	26.4	26.3	28.3	24.5
	No. 7	6.0	12.1	11.5	31.1	12.1	12.6	14.2
B	No. 8	32.4	35.2	35.3	34.8	35.3	35.6	34.8
	No. 13	38.3	40.9	41.6	39.4	42.4	32.4	39.2
	No. 14	20.0	19.6	19.8	19.7	20.3	19.0	19.7
C	24.6	23.1	30.1	26.5	31.9	27.0	27.2	
D	20.7	23.6	24.8	28.0	28.3	29.6	25.8	

平均地温（同上1.1～14.4°C）では，対照区の地温が高いほど日射抑制の効果が大きいですが，その地温が低下するほど地温差（処理区—対照区）は減少して，5°C付近では零になる。

以上，植被模型がマルチ下の地温に及ぼす効果は，トンネル被覆の有無で若干異なり，特に夜間の保温効果は露地よりもトンネルの方が顕著である。

b. 日較差比

植被模型の地温に対する効果は，地温の日較差比からもみることができ。そのため，露地はトンネルについて，それからの対照区（露地：No.1，トンネル：No.8）における日較差で各処理区の日較差を割って求め（日較差比），得られた結果は表4-4の日較差比(1)のとおりである。なお，マルチと植被模型の複合効果を示す日較差比(2)については後述する。

これによると，露地，トンネルとも，区間差は明瞭である。トンネルでは全体的に露地よりも日較差比が大きく，したがって，植被模型の地温に及ぼす効果は露地よりもトンネルの方が小さいと言える。

表 4-4 各区における地温の日較差比 (処理区/対照区, 地下 5 cm)

区	露地 (A)		区	トンネル (B)	
	日較差比(1)	日較差比(2)		日較差比(1)	日較差比(2)
No. 2	0.82	0.83	No. 9	0.90	0.96
No. 3	0.83	0.84	No. 10	0.83	0.89
No. 4	0.57	0.57	No. 11	0.73	0.79
No. 5	0.46	0.46	No. 12	0.49	0.53
L. S. D. (5%)	0.07	n. s.	L. S. D. (5%)	0.13	n. s.

注) 日較差比(1): 植被模型の影響; 対照区は No. 1(露地)と No. 8(トンネル),
日較差比(2): マルチと植被の影響; 対照区は No. 7(露地)と No. 14(トンネル).

この点に関して前章(第3章第3節)では, 露地において同じ植被の繁茂(日射透過率)であってもマルチの有無で地温差があり, それは主に土壤水分によると述べたが, 今回の露地とトンネルの比較についても同様である.

すなわち, 期間中の土壤水分の変化(表 4-3)は, 前述したように露地(A)とトンネル(B)ではトンネルの方が高水分であった. このことから, トンネル内における地温の変化は露地のものよりも緩慢となり, 日較差比は大きくなったものと思われる.

次に, これら地温の日較差比と日射透過率との関係を図 4-3 に示した. これによると, 日較差比と日射の抑制とは密接な関係があつて, 図中に示した一次式によって近似できる.

トンネル内の露地の日較差比を比較すると, トンネルの方が約 0.1~0.2°C ほど大きい.

こうした関係から, 植被下の日射透過率によって, トンネル内と露地の地温の変動幅がある程度推定できるものと考えている.

(3) マルチと植被模型の複合効果

a. 半旬平均値

マルチと植被模型による地温の複合効果をみるため前記の(2)と同様にして, 処理区(露地: No. 2~5, トンネル: No. 9~12)と対照区の裸地(No. 7, 14)の地温差と対照区の地温との関係を求め, 図 4-4 に示した.

a-1 露地の場合

最高地温(1月~4月, No. 7では 7.7~26.6°C)についてみると, 植被模型だけの単独効果(図 4-2)とは若干異なつて, 透過率が高い区(No. 2, 3)では, 日射抑制による地温の低下よりもマルチによる地温の上昇の効果が目立っている. しかし, 透過率が低い区(No. 4, 5)では, 対照区の地温が高くなるほど地温の抑制が大きくなった.

一方, 最低地温(同上 -1.0~9.4°C)では, いずれの区も対照区の地温より保温効果を示し, しかも, No. 5以外の各区(No. 2, 3, 4)では, 対照区の地温が高いほど保温効果は大きくなる. その程度は期間中, No. 2>No. 3>No. 4の順に大きく経過した.

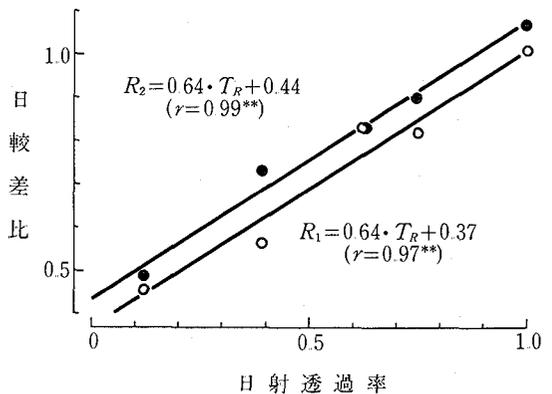


図 4-3 地温の日較差比 (R_1, R_2) と植被模型の日射透過率 (T_R). R_1 は露地における比 (各処理区/No. 1). R_2 はトンネルにおける比 (各処理区/No. 8).

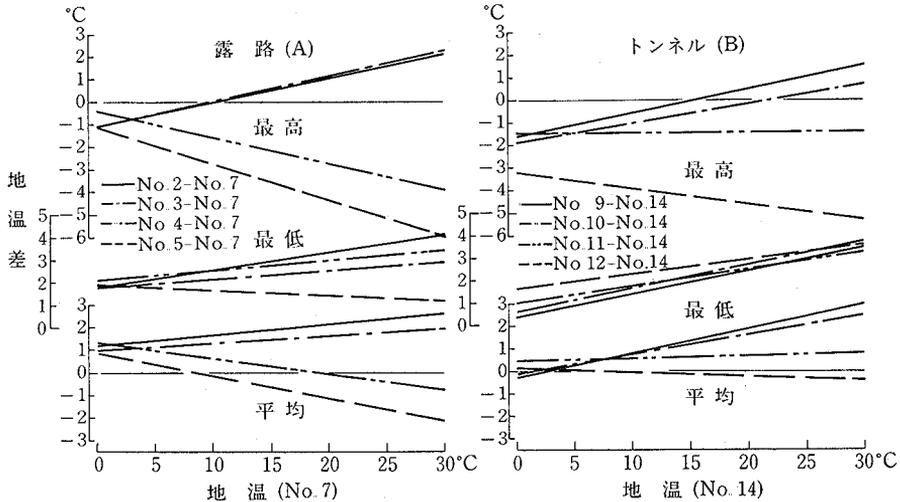


図4-4 各地温差(処理区-対照区)と対照区の地温との関係(地下5cm, 半月平均)
 対照区:露地; No. 7, トンネル; No. 14.

こうした傾向は、前述(第3章第1節)の場合と若干違っているが、それは主として実験を行った季節における日射量と土壌水分の相違が関連するものと考えている。

平均地温の場合(同上1.1~14.4°C)、透過率の高い区(No. 2, 3)においては、日射の抑制による地温低下がマルチの地温上昇と相殺され、対照区の地温より若干高くなるが、透過率の低い区(No. 4, 5)では、対照区の地温が高いほど日射の抑制が影響して低温となる。

以上のように露地では、最低地温の経過が例外を除いて、前章(第3章第1節)の場合と傾向はほぼ等しい。

a-2 トンネルの場合

最高地温(1月~4月, No. 14では14.1~28.6°C)の場合、マルチ区の透過率が39%(No. 11)を境として、それぞれのマルチ効果に差がある。すなわち、透過率の高い区(No. 9, 10)では、対照区の地温が上昇するほどそれとの差は縮まり、対照区の地温が15~20°C以上になると露地の場合と同様、処理区の方が対照区より高温となる。一方、透過率の低い区(No. 12)では、対照区の地温が高いほど地温差がマイナス側で大きくなる。

最低地温(同上1.9~10.4°C)の場合、区間差は明確ではないが、対照区の地温が高いほど地温差は大きく、いずれもマルチの保温効果が顕著である。

平均地温(同上6.8~17.0°C)では、透過率の小さいNo. 12(12%)以外は対照区の地温が上昇するに従い、いずれもマルチの温度効果を示し、植被模型単独の場合に比べてマルチによる地温上昇が著しい。また、トンネルでは露地の場合より低い透過率の区の地温上昇が目立っている。

以上、トンネル被覆においてはマルチと植被模型の複合効果は、模型単独の場合より大きく、また、露地との比較でもトンネルの方が顕著である。

b. 日較差比

前述の表4-4の複合効果(日較差比(2))をみると、露地、トンネルともに各区間の最小有意差は認められていない。これは、露地である対照区(No. 7, No. 14)の地温変化が一般の気象条件に直接影響されるのに対し、トンネルをした処理区(No. 9~13)では、トンネルやマルチによる閉鎖的な空間の中で地温は二次的に変化するので、結局、それら両者の比による日較差比は、植被単独の場合に比べて不均一になるためであろう。

しかし、期間中の各区の平均値では、露地、トンネルともに植被模型だけの場合と値がよく近似している。な

表 4-5 深さ 5 cm における地温日較差比(°C, H)と日射量(cal cm⁻² day⁻¹, R_s)との関係

区		関 係 式	
露 地 (A)	No. 1	$H=0.60+1.6\cdot 10^{-2}\cdot R_s$ ($r=0.58^{**}$)	
	No. 2	$H=0.36+1.8\cdot 10^{-2}\cdot R_s$ ($r=0.66^{**}$)	
	No. 3	$H=0.30+2.2\cdot 10^{-2}\cdot R_s$ ($r=0.68^{**}$)	
	No. 4	$H=0.35+0.9\cdot 10^{-2}\cdot R_s$ ($r=0.57^{**}$)	
	No. 5	$H=0.31+0.6\cdot 10^{-2}\cdot R_s$ ($r=0.61^{**}$)	
トンネル (B)	No. 8	$H=0.96+0.4\cdot 10^{-2}\cdot R_s$ ($r=0.46^{**}$)	
	No. 9	$H=0.89+0.3\cdot 10^{-2}\cdot R_s$ ($r=0.51^{**}$)	
	No. 10	$(H=0.84+0.2\cdot 10^{-2}\cdot R_s)$ ($r=0.40$)	
	No. 11	$(H=0.80-0.1\cdot 10^{-2}\cdot R_s)$ ($r=0.05$)	
	No. 12	$(H=0.55-0.1\cdot 10^{-2}\cdot R_s)$ ($r=0.11$)	

注) 日較差比(露地:各マルチ/No. 7, トンネル:各マルチ/No. 14).

お、トンネルの方が露地より値が若干大きかったが、これは、トンネルの土壤水分が露地よりも全体的に多かったためであろう(表 4-3)。

日射量との関係を、露地とトンネルの各区における地温日較差比について求めると、表 4-5 のようになる。

露地の各区(No. 1~5)では、いずれも日射量の変化に対応して地温の効果が認められ、透過率が低いほど、各回帰式の中の変化係数は小さく、前章(第 3 章第 1 節)と同じ傾向であった。

一方、トンネル(No. 8~12)では、露地と若干異なっている。すなわち、透過率の高い区(No. 8, No. 9)では日射量の変化に充分対応しているが、その変化係数は、 0.4×10^{-2} 、 0.3×10^{-2} で、露地の No. 5(0.6×10^{-2})より小さい。また、透過率が 63%(No. 10)以下になると日射量との関連性は少なくなる。

以上、地温の日較差比からみたマルチと植被モデルの複合効果については植被モデル単独の場合と同様、露地よりトンネルの方が日較差比は大きくなるが、日射量との関連では、トンネルにおける日較差比の変化は小さい。

4) トンネル栽培におけるマルチと植被(大根)の地温効果

(1) 半旬平均値

a. 植被の効果

トンネル栽培の大根について、マルチの有無を組み合わせ(C区, D区), それらと各対照区(マルチ:No. 8, 無マルチ:No. 14)との地温差を、植被下の日射量透過率との関係で求め、表 4-6 に示した。

表 4-6 地温差(地下 5 cm, D_T)と日射透過率(T_R)との関係

	マルチ	無マルチ
最 高	$D_T=20.07\cdot T_R-10.13$ ($r=0.69^*$)	$D_T=15.42\cdot T_R-7.36$ ($r=0.83^{**}$)
最 低	$(D_T=-1.35\cdot T_R+1.08)$ ($r=0.30$)	$(D_T=0.14\cdot T_R+0.55)$ ($r=0.03$)
平 均	$D_T=8.30\cdot T_R-3.72$ ($r=0.83^{**}$)	$D_T=6.05\cdot T_R-2.31$ ($r=0.74^{**}$)

注) マルチ: C区-B区(No. 8)間の地温差
無マルチ: D区-B区(No. 14)間の地温差

表によると、マルチ区、無マルチ区ともに、最高、平均地温はいずれも日射透過率との関連性が強い。すなわち、最高地温と平均地温では、マルチ区の変化係数が無マルチ区のそれより 30%以上も大きい。この原因については土壤水分は直接関係なく(表 4-3)、日射透過率の測定方法が関連したものと考えている。すなわち、日射の測定は各区の株間、条間の中央部で日射計を 1 台あて使って行ったが、各測定点では個々の大根の葉の分布、および葉の繁茂状態にバラツキがあるので、大根の茎葉繁茂度と日射の透過率との関連性が必ずしも密接に現れ

なかったのではないかと考えている。

いずれにしても、植被による日射抑制の度合いが強まるにつれて、マルチ、無マルチとも、無植被区との地温差が縮小する傾向である。なお、最近地温と日射透過率との関連性は明確でない。

b. マルチと植被の複合効果

マルチと植被の複合効果をみるために、トンネルマルチ・植被区 (C) の地温と裸地 (A の No. 7) のそれとの差を求め、日射透過率との関係を図 4-5 に示した。なお、図中には比較のため、マルチ区の植被単独効果 (表 4-6) についても細線で示してある。

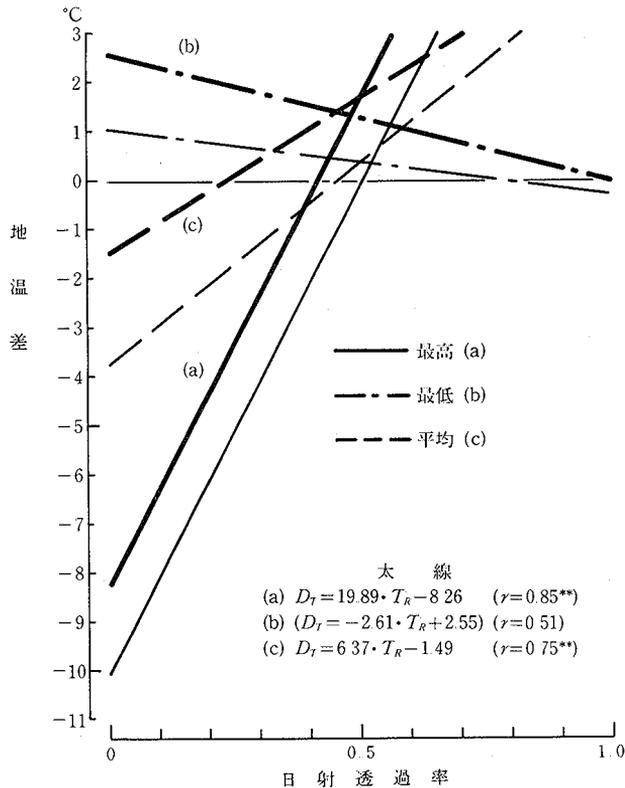


図 4-5 日射透過率 (T_r) と地温差 (植被-無植被, D_f) との関係。太線: C 区-B 区 (No. 14) 間の地温差 (地下 5 cm), 細線: C 区-B 区 (No. 8) 間の地温差。

図によると、最高地温では日射量の透過率が低くなるほど、つまり、茎葉地の繁茂に伴って地温は裸地よりも低くなる。それが、マルチと植被の複合効果 (太線) の場合、透過率が約 40% 以下で認められるが、繁茂単独の場合は約 50% 以下でそれが認められ、透過率がこれ以下になると裸地の地温の方がトンネル (C) の地温より高くなる。

また、日射透過率に対する変化係数は、単独効果、複合効果のどちらでも約 20 であった。

一方、最低地温ではマルチと植被の複合効果および植被の単独効果ともに、透過率のほぼ全範囲にわたって裸地より高温となって保温性が顕著である。ただ、透過率の如何にかかわらず、複合効果の方が植被単独の場合より約 2 倍の効果 (地温差) があり、これはマルチによる影響が大きいものと思われる。そうした傾向は平均地温

においてもある程度認められる。

また、この時の日射透過率と LAI については、次式の関係式が得られた。

$$\text{マルチ (C)} \quad T_R = 0.17 - 0.09 \cdot \ln LAI \quad (r = 0.97^{**}) \quad (4-1)$$

$$\text{無マルチ (D)} \quad T_R = 0.15 - 0.11 \cdot \ln LAI \quad (r = 0.96^{**}) \quad (4-2)$$

ここで、 LAI は葉面積指数、 T_R は日射透過率を示す。

すなわち、区間差はあまりないが、両区とも LAI が小さいほど日射透過率による低下度の大きいことが示されている。

(2) 日較差比

地温日較差比と日射透過率との関係は、次式で示される。

$$\text{マルチ (C)} \quad R_1 = 0.18 + 1.61 \cdot T_R \quad (r = 0.88^{**}) \quad (4-3)$$

$$\text{無マルチ (D)} \quad R_2 = 0.43 + 1.01 \cdot T_R \quad (r = 0.73^{**}) \quad (4-4)$$

ここで、 T_R は日射透過率、 R_1 、 R_2 は各区の地温日較差比 (C区 / (B区 No. 8), D区 / (B区 No. 14)) を示す。

これによると、大根の植被下では、日射透過率の変化係数は模型の場合より大きい (図 4-3)。すなわち、マルチで植被のある場合、それが 1.61 で、植被模型 (0.64) の約 2.5 倍でかなり大きい。また、無マルチ区でも植被のそれは 1.10 であるから、模型より 70% 増である。こうした傾向は大豆の植被と植被模型との関係 (露地) においても得られている。

これら実際の植被と模型との相違は、第 3 章で指摘したように土壌水分によることも考えられるが、今回の場合は大根の群落構造と模型との相違によるところが大きいと考えている。

なお、マルチは無マルチとの比較では、前者の変化係数がより大きい。

次に、 LAI と地温日較差比との関係を求め図 4-6 に示した。

図によれば、生育の初期においては、 LAI が地温日較差へ及ぼす影響は大きく、マルチ、無マルチでそれが

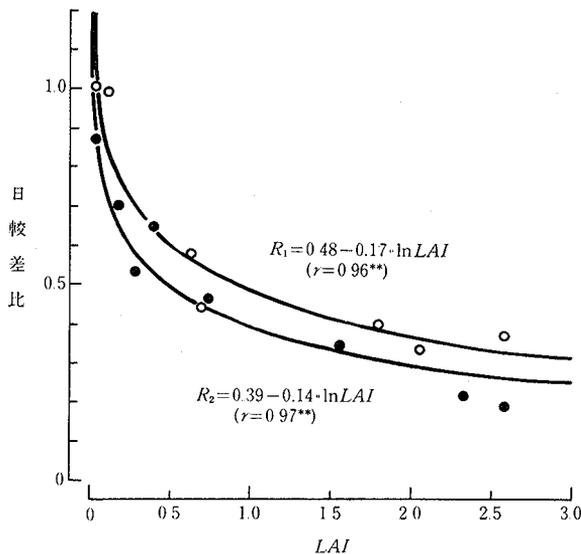


図 4-6 大根の LAI と地温日較差比 (R_1 ・ R_2 , 地下 5 cm) との関係。 R_1 : C区 / B区 (No. 8), R_2 : D区 / B区 (No. 14)。

示されている。また、両区の差は多少みられるが、これは、前述した透過率の測定における問題と、大豆の場合、マルチの有無が日較差に対してほとんど影響を与えていなかった点から、大根の植被でも、日較差比の差はほとんど無いものと考えてよいであろう。

以上、マルチ、無マルチとも、透過率の減少につれて比例的に日較差比も小さくなり、LAI との関係では、それが小さいほど日較差比へ及ぼす影響は大きく、マルチとの有無はほとんど関係ないようである。

第2節 ハウス栽培における場合

前節のトンネル栽培においては、黒色フィルムマルチと植被の各単独効果、及びマルチと植被の複合効果を、主に地温の面からみた。

それによると、フィルムマルチによる地温上昇の効果は、トンネル内の方が露地の場合よりも少ない日射量でより大きく、さらに寒冷紗を用いた植被の模型によって日射量透過率を低下させた場合、その地温日較差比は小さくなるが、その程度はトンネル内の方が露地よりわずかに小さいこと等が得られた。

ここでは、トンネル被覆の場合と異なった容積、保温比を持つビニールハウスにおいて、マルチと植被による地温効果について述べる。

1. 実験観測の設備と測定方法

実験は1980年12月より翌年7月にかけておこなった。

実験区はハウスと露地に区分し、さらにマルチの有無、日射の抑制（寒冷紗の植被模型による調節）、植被（キュウリ）を組み入れて、次の計6区を設定した。各区の供試条件は表4-7に示した。

表4-7 各区における処理

区		マルチ	植穴	寒冷紗枚数	日射透過率***	キュウリ植被	
ハウス	露地						
A	No. 1	B	No. 8	*	0	100	
	No. 2		No. 9	*	1**	75	
	No. 3		No. 10	*	1	63	
	No. 4		No. 11	*	2	39	
	No. 5		No. 12	*	4	12	
	No. 6		No. 13	*	*	0	100
	No. 7		No. 14	*	*	0	100
C		*	*			*	
D			*			*	
	E	*	*			*	
	F		*			*	

*: 処理、マルチ資材は黒色ポリエチレンフィルム (0.05 mm厚)、植穴の径は約5.5 cm

** : 寒冷紗のメッシュを拡大

***: 1981年5月23日12時に測定

A : ハウスマルチ・植被模型区 (No. 1~7, No. 1は対照区)

B : 露地マルチ・植被模型区 (No. 8~14, No. 8は対照区)

C : ハウスマルチ・植被区

D : ハウス無マルチ・植被区

E : 露地マルチ・植被区

F : 露地無マルチ・植被区

表 4-8 測定方法の詳細

項目	区	位置	方法
地温	A(No. 1-No. 7), B(No. 8-No. 14), C, D, E, F	深さ 5 cm	熱電対
気温	C, D, 露地	高さ 1.0 m	熱電対
湿度	C, D, 露地	高さ 1.0 m	熱電対
土壌水分	A(No. 1, 3, 5, 6, 7), B(No. 8, 10, 12, 13, 14), C, D	深さ 5 cm	ガラスブロック
蒸発量	A(No. 1, 6, 7), B(No. 8, 13, 14), C, D	畦表面	蒸発計
日射量	ハウス, 露地	高さ 2.0 m (A区)	農試電試型日射計
日射透過率	C, D	畦表面	農試電試型日射計
純放射	A(No. 1, 7), B(No. 8, 14), C, D	高さ 50 cm	純放射計
地中伝導熱量	A(No. 1, 7), B(No. 8, 14), C, D	土壌表面(埋設)	地中熱流板

日射を抑制する植被模型は、黒色の寒冷紗（テイジン AE135, T-600）を各区の畦面上 10 cm の高さに木枠（60×100 cm）で水平に固定した。植被としてキュウリ（品種：新光）を用い、30×100 cm の栽培間隔で 4 月 28 日に定植し、7 月 8 日まで慣行に準じて栽培した。マルチについては黒色ポリエチレンフィルム（幅 135 cm、厚さ 0.04 mm）で畦面を被覆し、各区の畦（畦長は 10.0 m、畦幅 1.0 m、畦高 20 cm）はすべて東西方向にした。有孔ポリフィルムは、径 5.5 cm の植穴が 20×30 cm の距離であけられている。ハウスは、奥行 11.0 m、間口 3.9 m、棟高 2.15 m、の空間を、透明ビニールフィルム（厚さ 0.075 mm）で被覆した（保温比 0.51）。

実験期間中の微気象観測については、表 4-8 に一括して示した。地温、土壌水分及び蒸発量は 12 月 25 日より連続的に観測し、熱収支項は 4 月 18 日と 6 月 8 日に 24 時間観測を実施した。なお、5 月以後の日中には、ハウス内では高温になるため、適宜、自然換気を行った。

2. 実験結果と考察

1) マルチの有無と熱収支

ハウスにおけるマルチの有無によって、アルベドがどのような影響をうけるかをみると、表 4-9 のとおりで、4 月 18 日の晴天の場合、マルチ区の方が無マルチ区より 4.5% 減少しており、それが露地では 5.9% に拡大されていた。この差は、ハウスではビニールフィルムを透過した日射の散乱光の割合が、露地よりも大きくなったためと考えられる。また、ハウスと露地のマルチ区では 7% 前後で大差はなかった。しかし、無マルチ区ではハウスで 11.2%、露地で 13.2% であった。

こうした傾向は、6 月 8 日でもみられた。

表 4-9 各区の畦表面におけるアルベド(%)と日射量(cal cm⁻² day⁻¹)

	ハウス (A)		露地 (B)		日射量
	マルチ (No. 1)	無マルチ (No. 7)	マルチ (No. 8)	無マルチ (No. 14)	
1981年 4 月 18 日	6.7	11.2	7.3	13.2	462
1981年 6 月 8 日	8.5	13.4	8.4	16.0	537

次に、熱収支各項の値は、表 4-10 のとおりである。これら熱収支項の符号は、前述（第 2 章第 1 節）と同じである。

(1) 純放射

日中の純放射量は 4 月 18 日の場合、ハウス、露地ともにアルベドの低いマルチ区 (No. 1, 8) のものが無マル

表 4-10 ハウス (A 区) と露地 (B 区) における熱収支項の日量 ($\text{cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

	ハウス (A)						露地 (B)						
	マルチ (No. 1)			無マルチ (No. 7)			マルチ (No. 8)			無マルチ (No. 14)			
	R_n	B	$L+V$	R_n	B	$L+V$	R_n	B	$L+V$	R_n	B	$L+V$	
4 月 18 日	+	272.1	59.6	215.9	244.0	63.2	195.1	319.7	72.2	255.2	310.4	98.3	215.2
	-	33.5	33.1	3.8	16.1	30.4	0	49.1	48.4	8.3	50.2	39.1	14.3
	Σ	238.6	26.5	212.2	227.9	32.8	195.1	270.6	23.8	246.9	260.2	59.2	200.9
6 月 8 日	+	287.5	64.0	227.5	247.8	101.5	157.1	335.7	77.4	261.4	263.6	117.6	147.4
	-	28.5	32.3	0.2	18.8	29.6	0	56.9	46.6	13.4	51.1	43.3	9.2
	Σ	259.0	31.7	227.3	229.0	71.9	157.1	278.8	30.8	248.0	212.5	74.3	138.2

注) R_n : 純放射量, B : 地中伝導熱量, L : 顕熱伝達量, V : 潜熱伝達量

チ区 (No. 7, 14) より 3~12% 多かった。この傾向は、日射量の多い 6 月 8 日になると一層顕著となって、マルチ区は 16~27% 増であった。

夜間のハウスでは、マルチ—無マルチの差が大きく、マルチは無マルチの 1.5~2.1 倍であった。これは、夜間における露地の風速が平均 1.0 ms^{-1} (4 月 18 日), 1.5 ms^{-1} (6 月 8 日) であるのに対し、ハウスでは無風状態であることから、ハウス内のマルチ区は無マルチ区よりフィルムと土壌表面との接触面積が多くなり、その結果、日中に無マルチ区より多く蓄えられた地中伝導熱量が地下部よりマルチフィルム表面へ移動したため、有効放射量が多くなったものと考えられる。

露地のマルチ—無マルチ間の差は 4 月、6 月ともほとんど無く、ほぼ $50 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 程度であった。

以上を日総量からみると、日中の受熱量が大きく影響し、ハウス、露地ともにマルチ区の方が無マルチ区より大きかったが (4 月 18 日では 4~5% の増、6 月 8 日では 13~31% の増)、純放射そのものは、露地の 2 区よりもハウスの 2 区の方がいずれも少なくなっている。ハウスのマルチ区は、露地のマルチ区よりそれぞれ 12% (4 月 18 日)、7% (6 月 18 日) の減であった。

(2) 地中伝導熱量

伝導熱量は 4 月 18 日の場合、ハウス、露地ともに日中はマルチ区より無マルチ区の方が大きく、ハウスでは 6%、露地は 36%、それぞれ増加した。また、6 月 8 日も、ハウス、露地ともにマルチ区より無マルチ区の方が大きかったが、両無マルチ区とも 52~59% 増であった。

このハウスにおけるマルチ—無マルチの差の大小には、実験期間中のハウスの換気状態が関連するものと考えられる。すなわち、4 月 18 日における密閉したハウス内ではほぼ無風となったので、マルチと無マルチの差は露地におけるよりも小さくなったものと考えられる。4 月 18 日の露地においては平均 0.9 ms^{-1} の微風があり、その結果、露地のマルチ区では風によってフィルムと地表面間に空気層が生じ、無マルチの裸地に比べて地中伝導熱量はかなり小さくなり、6 月 8 日も同じであった。一方、6 月 8 日のハウスでは自然換気をしていたので、ハウスと露地とは類似の条件となり、結局、マルチ—無マルチの関係が露地と同じようになったものと思われる。

また、ハウスと露地との比較では、日中は全体的にハウスの方が露地より少なかった。

夜間の場合は、4 月、6 月ともにハウスと露地のマルチ—無マルチの差はそれほど大きいものでなく、トンネルの場合を含むこれまでの報告とほぼ同じであった。

次に、これらの各区の伝導熱量を貯留比で示すと、表 4-11 のようになる。4 月 18 日の値をみると、ハウス内のマルチ区では無マルチ区より 15% 減少しており、露地ではマルチ区の減少程度が若干大きく 29% となり、これにはフィルムマルチと土壌表面の間にある空気層による断熱作用が考えられた。6 月 8 日では日射量が多いこと

表 4-11 各区における貯留比 (B/Rn)

	ハウス (A)		露地 (B)	
	マルチ (No. 1)	無マルチ (No. 7)	マルチ (No. 8)	無マルチ (No. 14)
4月18日	0.22	0.26	0.23	0.32
6月8日	0.22	0.41	0.23	0.45

もあって、両区間の差はさらに拡大した。

なお、4月18日と6月8日の比較から、ハウス、露地ともマルチ区の貯留比はほとんど変わらず、したがって日射量の多少によってこれは大きく変動しないようである。

(3) 顕・潜熱伝達量

日中における畦面への顕・潜熱伝達量は、4月18日のハウスの場合、マルチ区は無マルチ区より11%増であった。しかも、マルチ区の値 ($215.9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$) はそれが被覆処理であることから、ほぼすべてが顕熱伝達量と考えられる。またマルチ区の顕熱伝達量が無マルチ区より多いことは、日中、無マルチ区の地面温度が 44.0°C (5月20日12時) に対し、マルチ区のフィルム表面温度が 58.4°C であったことによっても示されている。

露地のマルチ区と無マルチ区では、ハウスのものよりそれぞれ18、10%増であるが、マルチの有無による傾向はハウスの場合と同様、マルチ区が無マルチ区より大で、前述(第3章第2節)の結果と同じであった。

6月8日におけるマルチの有無が顕・潜熱伝達量に及ぼす影響は、4月18日の場合よりさらに顕著であり、マルチ>無マルチの傾向はハウス及び露地ともに変わらなかった。

なお、夜間におけるマルチの有無の影響は、ハウス、露地とも小さかった。

以上、ハウスではマルチによって日中の純放射量が特に多くなること、地中伝導熱量は逆にマルチ区の方が無マルチ区より少なくなり、顕熱伝達量では純放射と同様にマルチの方が多くなること等が得られた。なお、地中伝導熱量では換気の影響もみられた。また、ハウスと露地の比較では、各収支項とも全体的にハウスの方が小さかった。

2) マルチと日射抑制の地温に対する効果

(1) マルチの効果

ハウスと露地におけるフィルムマルチの地温に対する効果をみるため、それらの半旬平均の最高、最低および平均地温についてマルチと無マルチの地温差を求め、それと日射量との関係を図4-7に示した。

これによると全般的にハウス、露地とも日射量の増大に比例して、マルチによる地温上昇の程度も大きくなり、トンネルの場合(前節)と同じ傾向である。

a. 無孔フィルムの場合

ハウス、露地とも日射量の増大に伴うマルチ区の温度上昇率(変化係数)は、最高>平均>最低の順であったが、その程度には差があり、最高地温ではハウスと露地はほぼ同じ上昇率である。しかし、最低地温では、露地の方がハウスの場合より上昇率が増大した。また、ハウスにおいては日射量の多少に関係なく、マルチ区が無マルチ区より高温となり、顕著な地温上昇が得られた。しかし、露地においては若干ハウスの場合と異なっている。すなわち、露地の最高地温では $123 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上の日射量で地温差がみられ、最低地温では $26 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上、平均地温では $72 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上の場合にそれがみられた。

以上、ハウスの昇温効果を示す日射量の限界は、トンネルの場合と若干異なっている。トンネルではマルチ区の最高、最低、平均の各地温が無マルチ区より昇温を示すのは、日射量がそれぞれ 81, 41, $84 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以

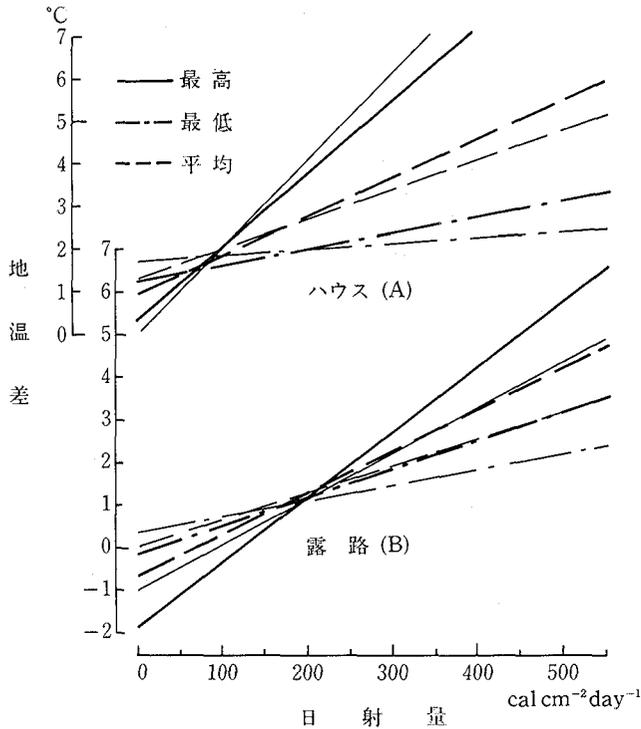


図4-7 地温差（マルチ-無マルチ）と日射量との関係（地下5cm，半旬平均）。太線（無孔）：ハウス（No.1-No.7），露地（No.8-No.14）。細線（有孔）：ハウス（No.6-No.7），露地（No.13-No.14）。

上の場合であった。ハウスでは前述したように、いずれも $0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上でそれが認められている。

このハウスとトンネルとの差異については、後述のようにそれぞれの保温比が0.51, 0.37であること、換気の有無、実験期間の相違（ハウスは1980年12月～1981年7月、トンネルは1981年1月～4月）等が関係したと考えられる。

b. 有孔フィルムの場合

ハウスの最高地温について、日射量の変化に対する関係直線の変化係数を比較すると、有孔フィルムは無孔フィルムの18%増の 2.00×10^{-2} であるが、平均地温、最低地温では逆にそれぞれ24% (0.68×10^{-2}) 減、68% (0.12×10^{-2}) 減であった。露地においては、有孔フィルムの変化係数は無孔フィルムの32%減で、平均地温、最低地温でもそれぞれ37%、46%小さく、日射量の変化に対するマルチ下の地温変化は、無孔の場合よりも有孔の場合の方が小さく現れている。

以上のように、フィルムの植穴の有無により地温効果に差があること、ならびにハウスにおいてはマルチによる地温上昇効果が露地の場合より著しいこと等が得られた。

(2) 日射抑制の効果

a. 半旬平均値

寒冷紗を用いた植被模型（ハウス：No.2～5，露地：No.9～12）による日射抑制の地温に対する効果をハウスと露地でみると、図4-8のようになる。それは、日射抑制の各区と対照区（裸地）の地温差と、対照区の地温との関係を回帰式を基にして求めた。

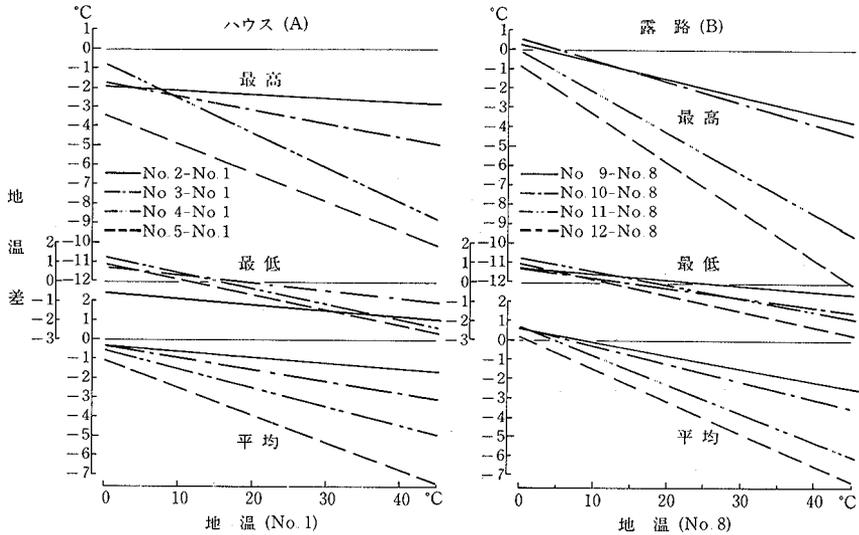


図4-8 各地温差(処理区-対照区)と対照区の地温との関係(半旬平均値)
対照区:ハウス;No.1,露地;No.8.

ハウスの場合, 最高地温(12月~7月, No.1では16.8~42.3°Cの変動幅)での日射抑制の効果は, 対照区の地温が高くなるほど日射を抑制した区の地温は低下した。ただ, 透過率が75%(No.2)と63%(No.3)では露地の場合より, 日射の抑制効果は若干大きい, 透過率39%(No.4)と12%(No.5)では逆にそれが小さくなった。

最低地温(同5.3~27.8°C)では, ハウスの場合, 処理区と対照区との地温差が比較的小さく, 期間中, どの区も4°Cの変動幅であった。また, 各処理区の地温差がゼロになるところ-対照区との交点-は, 対照区の地温でいうと10~20°Cの範囲(No.2以外)にある。このように, 処理区によって多少の違いはあるものの, 大体10°C以下になれば, マルチの保温効果が示される。

なお, 地温の効果を1日の平均でみると(同9.6~33.5°C), 対照区の地温が高いほど日射抑制の影響は大きい, 地温が低下するほど対照区との地温差は減少した。

一方, 露地における日射抑制が地温に及ぼす影響は, 前述(第3章第1節)の場合とほぼ同じ傾向を示し, 昼間では対照区の地温がかなり低くなくても認められる。

以上のように植被模型がマルチ下の地温に及ぼす効果は, ハウスと露地で大差はなかった。また, ハウスの夜間における保温効果はトンネルの場合ほど大きくはなかったが, これは主に土壌水分の相違にあると考えられる。

表4-12によると, ハウスにおける土壌含水率のマルチ-無マルチの差は, 露地の場合と比較して2%程度で

表4-12 各区における土壌含水率(地下5cm)

区	ハウス(A)		区	露地(B)	
	平均	C.V.		平均	C.V.
No. 1	29.8	24.1	No. 8	29.7	9.4
No. 3	28.8	27.9	No. 10	31.1	11.1
No. 5	29.4	23.3	No. 12	35.5	20.4
No. 6	29.8	9.6	No. 13	28.0	11.9
No. 7	18.3	21.6	No. 14	22.0	31.0

表 4-13 各区における地温日較差比 (地下 5 cm)

区	ハウス (A)		区	露地 (B)	
	日較差比(1)	日較差比(2)		日較差比(1)	日較差比(2)
No. 2	0.81	0.90	No. 9	0.31	0.89
No. 3	0.73	0.81	No. 10	0.82	0.89
No. 4	0.56	0.62	No. 11	0.55	0.60
No. 5	0.47	0.52	No. 12	0.44	0.48
L. S. D. (5%)	0.02	0.03	L. S. D. (5%)	0.02	0.06

注) 日較差比(1)は植被模型による影響 (対照区, ハウス: No. 1, 露地: No. 8)

日較差比(2)はマルチと植被模型による影響 (対照区, ハウス: No. 7, 露地: No. 14)

大差はなかった。ところがトンネルの場合ではそれが大きく、トンネルの方が露地よりも5.5%も高かった。こうしたことから、ハウスの保温効果がトンネルほど顕著でない点が理解されよう。

b. 日較差比

日射抑制 (植被模型) の地温に対する効果は、地温の日較差でみることができ、ハウスと露地について、処理区の日較差を対照区 (ハウス: No. 1, 露地: No. 8) の日較差で割った、いわゆる日較差比を求め、表 4-13 の日較差比(1)に示した。なお、日較差比(2)はマルチと植被模型の複合効果を示すもので、後述する。

これによるとハウス、露地とも、それぞれにおける日射抑制の程度による地温効果には明らかな区間差を認めるが、ハウスと露地の差は余りはっきりしていない。これは、トンネル栽培の場合と若干異なっている。この原因も前述(a)と同様、土壌水分によるものであろう。

また、これら地温の日較差比と日射量透過率との関係は、次式で示される。

$$R_w = 0.61 \cdot T_r + 0.36 \quad (r=0.99^{**}) \quad (4-5)$$

$$R_o = 0.66 \cdot T_r + 0.34 \quad (r=0.98^{**}) \quad (4-6)$$

ただし、 R_w 、 R_o はそれぞれハウスと露地における地温日較差比 (No. 2~5/No. 1, No. 9~12/No. 8) であり、 T_r は各区 (No. 2~No. 5, No. 9~No. 12) の日射透過率を示す。それによると、両区の差はほとんど無いが、いずれも日射透過率と地温日較差比とは比例関係があり、前述 (第3章第1節) の植被模型による結果と一致している。

(3) マルチと植被模型の複合効果

a. 半月平均値

マルチと日射抑制 (植被模型) による地温の複合効果をみるため、前記の(2)と同様に処理区 (ハウス: No. 2~5, 露地: No. 9~12) と対照区 (ハウス: No. 7, 露地: No. 14) の地温差と、対照区との関係を求め、図 4-9 に示した。

ハウスの場合、最高地温 (12月~7月, No. 7では15.0~37.2°C) では透過率の高いマルチ区 (No. 2, No. 3) は、日射抑制による地温の低下よりもマルチによる上昇効果の方が大きく、対照区の温度が高くなるにつれて、処理区の地温が対照区を上まわるようになる。ただ、透過率75%の区 (No. 2) では、対照区の地温を下まわるのは20°C付近であり、透過率が63% (No. 3) になると、対照区の大部分の温度域で処理区の方が低温になる。透過率の低いNo. 4, 5の区では、対照区との温度差は、その温度域にかかわらずほぼ一定している。

最低地温 (同3.1~26.2°C) では、対照区の温度域の大部分 (約0~30°C) において、処理区の地温は対照区より高温で、いずれもマルチによる保温効果が顕著である。

なお、この保温効果は、対照区の地温が15°C付近から、透過率が高い区ほど大きくなる。

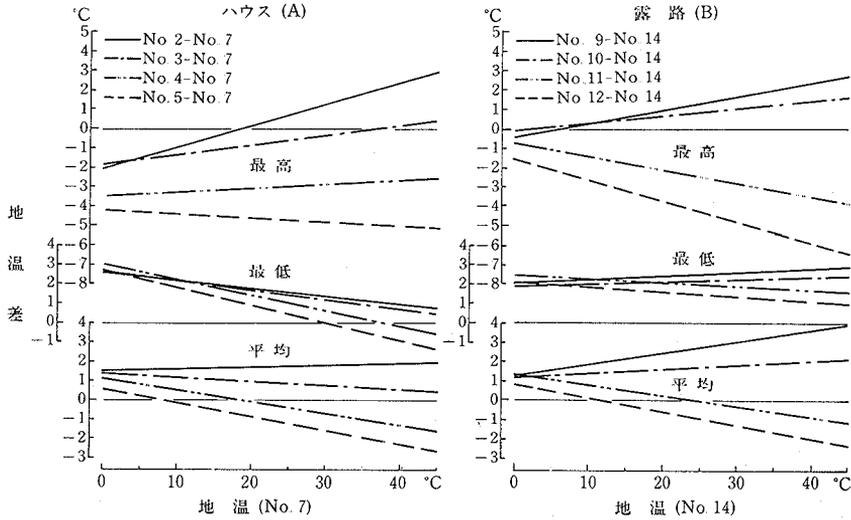


図 4-9 各地温差(処理区-対照区)と対照区の地温との関係(半旬平均値)
対照区: ハウス; No. 7, 露地; No. 14.

平均地温(同 7.5~29.8°C)では、透過率の高い区 (No. 2, 3) の地温が対照区の地温より常に高かったが、透過率の低い区 (No. 4, 5) では必ずしもそうした傾向は示していない。

なお、露地におけるマルチと日射抑制の影響は、植被模型(第3章第1節)の場合とほぼ同じ傾向を示し、特にマルチの保温効果は顕著である。

以上のように、ハウスにおけるマルチと日射抑制の複合効果は、模型単独の場合より大きいですが、露地との差は顕著ではない。

また、トンネルの複合効果において、露地との差が顕著であったが、こうしたハウスとトンネルにおける複合効果の違いも、前述の場合と同様、土壌水分の影響によるものと考えられる。

b. 日較差比

前に示してある表 4-13 の日較差比(2)をみると、ハウス、露地ともに模型単独の場合(日較差比(1))より、各区の日較差比は 4~9% も大きくなった。このことは、マルチに植被模型が加わることで、マルチ単独の場合に比べて、地温日較差比に及ぼす影響が小さいことを意味する。

なお、これら地温の日較差比と日射透過率との関係は、次式で表すことができる。

$$R_{HP} = 0.70 \cdot T_r + 0.39 \quad (r = 0.99^{**}) \quad (4-7)$$

$$R_{OP} = 0.72 \cdot T_r + 0.38 \quad (r = 0.98^{**}) \quad (4-8)$$

ただし、 R_{HP} 、 R_{OP} はそれぞれハウスにおける地温日較差比 (No. 2~5/No. 7)、露地における地温日較差比 (No. 9~12/No. 14) であり、 T_r は各区 (No. 2~5, No. 9~12) における日射透過率を示す。

この式でみる限りハウス、露地ともほとんど差が無く、日射透過率と地温日較差比は同程度で比例関係にあるといえる。また、日射透過率の変化係数は複合効果の場合、模型単独の場合より若干大きい。

このように、ハウスにおける地温の日較差比からみたマルチと植被模型の複合効果は、露地の場合とほとんど同じであり、また、模型単独の場合に比べて地温に及ぼす影響は小さい。

3) マルチとキュウリの植被による地温効果

マルチとキュウリの植被が地温(地下 5 cm)に及ぼす単独効果、並びに複合効果の季節変動は地温(半旬平

均)の日較差比を用いて検討した。

各区の季節変化は、図4-10のようになる。なお、図中のハウスにおける日較差比のうち、No.1/No.7(露地ではNo.8/No.14)はフィルムマルチによる単独効果、Plot C/No.7(同Plot E/No.8)とPlot D/No.7(同Plot F/No.14)はそれぞれマルチ区、無マルチ区における植被単独の効果、そしてPlot C/No.7(同Plot E/No.14)はマルチと植被の複合効果をそれぞれ意味する。

これによると、ハウスにおけるマルチの単独効果を示す日較差比(No.1/No.7)は、期間中の平均で1.10となり、平均的には裸地状態(No.1)より10%大きくなった。しかも、季節の進展に伴う日射量の増加による日較差比の増大はみられず、期間中1.00~1.25の変動幅でほぼ一定していた。これに対して露地では日射量の増大と共に日較差比が大きくなっていった。

植被の単独効果を示す日較差比は、6月2半旬まではマルチ区より無マルチ区の方が大きく経過し、露地の場合とは異なった。しかし、地比率が大きいくほど日較差比が小さくなるという点では、ハウス、露地とも同傾向である。植被とマルチの複合効果については、植被単独の場合とほぼ平行的で、露地の場合も同じ傾向を示した。

次に、地温日較差比と日射量との関係からマルチの効果をみると、次式で示される。

$$\text{ハウス } R_M = 0.95 + 0.09 \cdot 10^{-2} \cdot R_s \quad (r = 0.73^{**}) \quad (4-9)$$

$$\text{露地 } R_o = 0.91 + 0.06 \cdot 10^{-2} \cdot R_s \quad (r = 0.35^*) \quad (4-10)$$

ただし、 R_M 、 R_o はハウスおよび露地におけるマルチの単独効果を示す地温日較差比で、それぞれNo.1/No.7、No.8/No.14であり、 R_s は日射量($\text{cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)を示す。

ハウスでは、日射量が多いほど日較差比は大きくなり、日射量の変化に対する勾配(変化係数)は露地の場合よりも若干大きい。

また、キュウリの植被による効果は、地温日較差比と葉面積指数との関係から、ハウス内では次式のようになる。

$$\text{マルチ区 } T_{RM} = 0.58 - 0.07 \cdot \ln LAI \quad (r = 0.92^{**}) \quad (4-11)$$

$$\text{無マルチ区 } T_{Ro} = 0.45 - 0.19 \cdot \ln LAI \quad (r = 0.98^{**}) \quad (4-12)$$

ただし、 T_{RM} 、 T_{Ro} は地温日較差比(ハウス内)でそれぞれPlot C/No.1、Plot D/No.7であり、 LAI は葉面積指数を示している。

これから、繁茂度と日較差比とは相関が高く、いずれかの区においても、 LAI が増大するにつれて、日較差比は減少する。また、マルチ区と無マルチ区の比較では、 LAI の増大に伴う日較差比の減少は、マルチ区の方が無マルチ区より小さくなっている。このように、キュウリのような蔓性の植被においても、大豆植被(第3章第2節)と同様な関係が得られている。

以上、ハウスと露地の比較においては、トンネル被覆の場合と同傾向的に一致した点は多い。しかし、地温日較

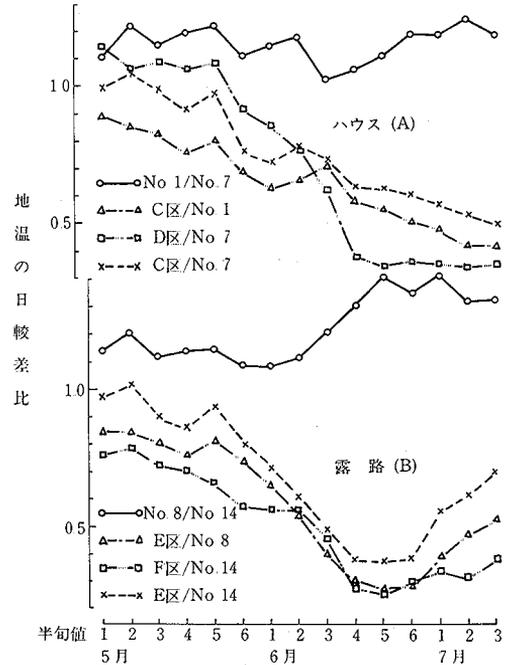


図4-10 地温(地下5cm)の日較差比の季節変化

差比では、トンネル—露地にはほとんどなかった等の相違した結果も認められた。これには、ハウスとトンネルの被覆容積の大小、換気状態、土壤水分等が関与するものと思われた。

第3節 要 約

トンネルとハウスの簡易被覆栽培施設内におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響を、微気象的に検討した。得られた結果について要約すると、下記のごとくである。

A. トンネルにおける場合

トンネル被覆とマルチにはそれぞれ透明ポリフィルム（厚さ 0.03 mm）と黒色ポリフィルム（厚さ 0.04 mm）を用いた。植被には寒冷紗の枚数を調節した植被模型と、大根の“旭交春青”を使用した。トンネル内と露地にはそれぞれマルチと植被模型を設置し、また、一部トンネルには大根を栽植してマルチ、植被の各単独効果、およびマルチと植被による複合効果を、主に地温を中心にみた。なお、実験は1981年1月より4月にかけて行った。

(1) 熱収支観測（露地）によると、黒色ポリエチレンフィルムにより、純放射量の昼間及び日積算量とも増大すること、顕熱伝達量として使われる割合の増加することなど、これまでの結果（第2章第1節）と一致した。

(2) マルチの単独効果を最高地温（地下5 cm）で見ると、露地では約 $140 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ の日射量で地温差（マルチ—無マルチ）が得られたが、トンネル内ではそれが約 $80 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であり、露地、トンネル共に日射量の増大に比例して、地温の上昇の程度が大きくなった。

(3) マルチと植被模型による地温効果を地温日較差比からみると、模型単独の場合、それが日射を強く制御するほど日較差比は小さくなるが、その程度はトンネル内の方がわずかに露地よりも小さい。マルチと植被模型の複合効果でもその傾向は同じである。

(4) 夜間におけるトンネル内の植被模型による保温効果は、露地の場合より大きく、それにマルチが加わると保温の効果は一層顕著になる。

(5) トンネル栽培における大根（植被）の地温に対する影響度は、マルチの有無とはほとんど関係なく、しかも生育の初期におけるほどそれは大きかった。

B. ハウスにおける場合

ハウスでは透明ビニール（厚さ 0.075 mm）を、マルチには黒色ポリフィルム（同 0.04 mm）を用いて、トンネルの場合と同様にして植被模型とフィルムマルチによる影響をみた。なお、実験は、1980年12月より翌年7月にかけて行った。

(1) ハウス内の熱収支をみると、純放射量では日中、マルチの方が無マルチより12%も多く（4月18日）、顕・潜熱伝達量もマルチの方が11%多かった。しかし、地中伝導熱量では逆にマルチの方が無マルチよりも6%低かった。

なお、ハウスと露地との比較では、各収支とも全体的にハウスの方が小さかった。

(2) マルチの単独効果を最高、最低、平均地温（地下5 cm）で見ると、露地（無孔フィルム）のマルチでは日射量が $123 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ において地温効果（マルチ—無マルチ）が得られたのに、ハウスではそれが $0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ でも効果が認められ、マルチによる地温上昇が顕著であった。この効果のトンネルの場合（上記の2）との差異は両実験日の気象状態によるが、保温比（ハウス；0.37、トンネル；0.51）、換気の有無（ハウスでは適宜換気をした）が関係したものと考えられた。

(3) マルチと日射抑制（植被模型）による地温効果を地温日較差比からみると、日射抑制の単独効果、及び日射抑制とマルチによる複合効果のいずれの場合も、日射をつよく制御するほど日較差比は小さくなるが、ハウ

スと露地地間では大差がなかった。

(4) ハウス栽培におけるキュウリ（植被）の地温に対する影響度は、マルチ，無マルチともに生育の初期ほど大きいですが，生育全般を通じて無マルチの方がマルチより大きかった。

5章 フィルム下の土性の相違と地温変化

第1節 砂丘地における植被とマルチ

砂丘地におけるマルチの地温効果については、これまでに松田と神近(1979, 1980, 1981)^{24, 25, 44)}が、各種フィルムによる地温の低温制御、及び畦面の均平度と地温変化との関連において述べている。すなわち、アルベドの高い蒸着フィルムをはじめとする各種のフィルムマルチの地温特性を比較したり、またフィルムマルチにおいては畦面の凹凸が地温効果に大きく影響を及ぼすことなどを明らかにした。

しかし、これらは、フィルムマルチ自体による基本的な地温特性を得ることを目的としたため、作物を除いた状態での実験であった。従って、フィルムの植穴や作物の植被による影響については触れることがなかった。

そこでここでは、マルチ資材として最も一般的で、光の透過性が極端に違う黒色と透明のポリエチレンフィルムを用いて砂丘地の地温効果をみると共に、植被模型による日射抑制の影響も比較した。

1. 実験観測の設備と測定方法

1) 実験区

実験は、昭和58年5月～8月に、鳥取大学農学部付属砂丘利用研究施設内圃場において行った。東北東—西南西方向の畦をたて、熱収支測定のための3個の実験区と、マルチ資材の種類と植被模型の有無による10個の実験区を設けた(表5-1)。

表5-1 各実験区における処理

マルチの種類	処理	実験区の記号
黒色ポリフィルム (0.03 mm厚)	無 孔	無植被 Bn
		植 被 Bn
	有 孔(植穴)	無植被 Bp
		植 被 Bp
透明ポリフィルム (0.03 mm厚)	無 孔	無植被 Tn
		植 被 Tn
	有 孔	無植被 Tp
		植 被 Tp
無 マ ル チ	無植被 Nm	
	植 被 Nm	

注) B: 黒色ポリフィルム, T: 透明ポリフィルム, n: 植穴無し,
p: 植穴有り, Nm: 無マルチ, : 植被模型。

熱収支の測定のための3個の実験区は、2.0m×2.0mの畦で、それぞれ黒色ポリ被覆、透明ポリ被覆、無マルチ(裸地)の状態とした。10個の各実験区の大きさは、畦長2.0m、畦幅0.9m、畦高5cmである。フィルムにあけた植穴は、径5.5cmで2条(45cm×20cm)とした。なお、植穴の面積が各区の畦頂部面積に占める割合は、約3%であった。

さらに、植被の代わりに寒冷紗(テイジン AE135, T-600)を用いて植被模型とした。実際の植被では、生育の初期に植被が不均一なため、地温の水平的温度差が生じ易く、一定した地温の傾向を得ることは困難であると考えたからである。植被模型として寒冷紗を用いると、地被率は^{6, 58)}、畦面上に平均化される利点がある。寒冷紗は、木枠(80cm×150cm, 1区の畦頂部面積の75%に相当)に張り付け、これを地温センサーを埋設した畦

面上 10 cm の高さで、水平に固定した。また、実際の植被では、生育に伴って植被の繁茂度が高くなるので、模型の場合もそれを想定した実験区を設ける必要があるが⁵⁸⁾、今回の場合は比較する区が多いので、寒冷紗の枚数を一枚とし、一定の植被下における地温変化をみることにした。

2) 測定方法

アルベドの測定は、日射計 (MS-42 型, 英弘精機) を使用し、畦面上 50 cm の高さに上向きと下向きに設置して、その出力を読み取った。

純放射量の測定は、純放射計 (CN-11 型, 英弘精機) を畦面上 50 cm に設置し、地中伝導熱量は、地中熱流板 (CN-8 型, 英弘精機) を約 1 mm 覆土して求めた。また、顕熱伝達量と潜熱伝達量の和は、熱収支の残余として算出した。

フィルム表面温度と畦土壌表面温度の測定は、赤外放射温度計 (model AG-42, テラテンプ) を用いた。また、植被模型の日射透過率は、寒冷紗を張った枠 (1.0 m×1.0 m) の下 10 cm のところに日射計を置いて測定した。

地温の測定は、銅-コンスタンタン熱電対 (径 0.5 mm) を用い、各区の中央部の地表面、地下 2.5, 5, 10, 20 cm に埋設した。土壌水分の測定は、地温と同じ深さでサンプルを採取し、熱乾法で求めた。

2. 実験結果と考察

1) マルチフィルムの種類と熱収支

(1) 実験期間中における気象状況

砂丘地は、一般に日中の温度上昇と日較差が大きく、さらに湿度は低く、蒸発量が多いなどの気象的特徴がある。しかし、最近では砂丘開発にともなってそうした変化が和らげられる傾向にある²³⁾。

実験期間中の砂丘利用研究施設内露場⁶⁴⁾と鳥取地方気象台で観測された気温⁸⁵⁾を表 5-2 に示す。実験期間中における鳥取県内の気象状況は、平年に比べると比較的高温少雨であった。また、熱収支の 24 時間観測当日 (8 月 14 日) は晴天で、日射量は $598 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ である。

表 5-2 実験期間中における気温(°C)の季節変化(1983年)

	5 月		6 月		7 月		8 月	
	D	M	D	M	D	M	D	M
最 高	24.0	23.9	25.8	26.2	29.8	29.1	32.0	31.7
最 低	12.9	12.2	16.0	16.2	20.9	20.8	23.5	23.1
平 均	18.4	17.7	20.9	21.0	25.3	24.6	27.8	26.9
較 差	11.2	11.7	9.8	10.0	8.9	8.3	8.6	8.6

注) D: 鳥取砂丘, M: 鳥取地方気象台

(2) 熱収支項

熱収支に大きく影響を及ぼすアルベドとフィルム、及び裸地の表面温度は、表 5-3 に示す通りである。

表 5-3 実験区のアルベド(%)と表面温度(°C)

区	アルベド	表面温度
黒色ポリフィルム	9.4	53.9
透明ポリフィルム	37.1	43.5
無 マ ル チ	30.1	(48.0)

注) 1983年 8月27日11時30分—11時45分の測定値。

表5-3によるとアルベドは、黒色マルチ区が最も小さく9.4%を示し、無マルチ区（裸地）の約1/3であった。一方、透明マルチ区の方は逆に無マルチ区より大きくなり、無マルチ区の約2割増の37.1%である。従って、黒色マルチ区のフィルム表面温度は53.9°Cにも達したが、透明マルチ区では43.5°Cであり、両区の差は約10°Cにも及んだ。

次に各区の熱収支項の値を示すと、表5-4のようになる。なお、各項の符号は、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、他の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、いずれも正値を日中に、負値を夜間におけるものとして集計した。しかし、フィルム自体の温度変化に使われる熱量は、無視した。

表5-4 実験区における熱収支 (1983年8月14日, cal cm⁻² day⁻¹)

	黒色ポリフィルム			透明ポリフィルム			無 マ ル チ		
	<i>Rn</i>	<i>B</i>	<i>L+V</i>	<i>Rn</i>	<i>B</i>	<i>L+V</i>	<i>Rn</i>	<i>B</i>	<i>L+V</i>
+	308.4	31.2	277.8	196.2	79.2	119.4	253.2	66.0	193.2
-	36.6	21.6	15.6	56.4	43.8	15.0	45.0	42.6	8.4
Σ	271.8	9.6	262.2	139.8	35.4	104.4	208.2	23.4	184.8

注) *R*: 純放射, *B*: 地中伝導熱量, *L*: 顕熱伝達量, *V*: 潜熱伝達量

a. 純放射

日中の純放射量（正値）は、表面のアルベドが大きく影響して、黒色マルチ区で大きく、透明マルチ区では小さい値を示し、それぞれ無マルチ区（裸地）の21.8%増、22.5%減であった。

夜間（負値）になると逆に黒色マルチ区が最小となり（無マルチ区の18.7%減）、透明マルチ区が最大である（25.3%増）。

これらについて松田ら（1978）⁴³⁾が述べているように、両フィルムに対する土壌面からの熱の伝わり方に差があるためと考えられる。

一日の積算量（Σ）は、夜間の各区の温度差が比較的小さいため日中の場合とほぼ同じ傾向を示し、黒色マルチ区、透明マルチ区、無マルチ区の順である。

b. 地中伝導熱量

日中の地中伝導熱量は、日射透過率の高い透明マルチ区（89.8%）が無マルチ区に比して20%増となり、黒色マルチ区（9.0%）では反対に無マルチ区より53%も減少した。

この日中における地中伝導熱量の多少には、フィルムの透過率の他に、フィルムと地表面との空気の薄層が関係しているものと思われる。目視によると、黒色ポリエチレンフィルムでは、フィルムと地表面に隙間が多く生じており、そのため地中伝導熱量が少なくなっていると思われる。

夜間の地中伝導熱量は、透明マルチ区>無マルチ区>黒色マルチ区の順序であり、日積算値（Σ）も同じ傾向を示した。

なお、日中の地中伝導熱量を、純放射量との比（貯留比）で示すと、黒色マルチ区10.1%、透明マルチ区40.4%、無マルチ区26.1%となり、傾向としてほぼ松田ら（1978）⁴³⁾と一致している。

c. 顕・潜熱伝達量

日中の顕・潜熱伝達量は、黒色マルチ区>無マルチ区>透明マルチ区の順になり、純放射量の多い区ほど大きな値を示した。

夜間は、黒色マルチ区と透明マルチ区のマルチ区2区の間ではほとんど差がなく、いずれも無マルチ区より79～86%増であった。

さらに、日積算値では、純放射量の場合と同様に、黒色マルチ区が最大で（無マルチ区の41.8%増）、透明マルチ区が最小（無マルチ区の43.5%減）となった。

最後に、熱収支各項の純放射に対する割合をみると、黒色マルチ区では純放射量のほとんどが顕・潜熱伝達量で占められ（96%）、地中伝導熱量はわずか4%であった。一方、透明マルチ区では顕・潜熱伝達量の占める割合が75%で、地中伝導熱量の割合が25%に増えた。

なお、無マルチ区では、顕・潜熱伝達量と地中伝導熱量の占める割合はそれぞれ89%と11%となり、黒色マルチ区と透明マルチ区のほぼ中間であった。

以上のように、黒色マルチ区ではアルベドが低いために、日中の純放射量は最も多くなるが、フィルムと土壌面との密着度が悪いので、地中への伝導熱量は極めて少ない。従って、大部分は顕・潜熱伝達量として消費されている。それに対して、透明マルチ区では逆に純放射量は少ないが、地中への伝導熱量は大きくなり、顕・潜熱伝達量の割合は減少する。透明マルチ区の顕・潜熱伝達量は黒色マルチの半分以下になっている。

なお、一般の畑地での正午の測定例も、砂丘地の場合と傾向は変わりはない。すなわち、Waggoner et al (1960)⁹⁶⁾によると、純放射量と顕・潜熱伝達量は黒色マルチ区の方が透明マルチ区より多く、地中伝導熱量では、透明マルチ区が黒色マルチ区より多くなっている。

2) 植被とフィルムの植穴が地温に及ぼす影響

(1) 無マルチにおける植被と地温との関係

無マルチについて植被の無い場合 (Nm) と、植被のある場合 (\overline{Nm}) の地温 (5 cm, 10 cm) を半旬平均で示すと図5-1のようになる。

a. 最高地温

両区の中では無植被区の5 cm地温が期間中、最も高温（期間中の平均36.1°C）で経過したが、植被が加わると、(植被区)、1～5°Cの地温低下が生じた（平均33.7°C）。また、無植被区の10 cm地温は平均33.9°Cで、植被が加わるとそれより1～4°C低温（平均31.3°C）となり、5 cmの場合と同程度の地温低下（平均で約2.5°C）がみられた。

なお、無植被区と植被区では、深さによって差のあることは当然であるが、砂丘地の場合、土壌水分の少ない乾砂層⁴⁰⁾の発達によって、深さによる地温差の大きいことを松田・神近(1977)⁴²⁾が明らかにしている。

このように、砂丘地における無マルチでの最高地温は、植被の存在によって著しく低下している。

b. 最低地温

最低地温の様相は最高地温の場合とは異なり、植被区、無植被区とも10 cm地温の方が5 cm地温より高温に推移した。また、測定期間中の平均最低地温は深さ5 cmの場合、植被区23.5°Cと無植被区23.4°Cで差がほとんどなく、10 cm地温ではそれが24.3°Cと25.0°Cとなって、植被区が低く植被によって最低地温は低下した。

一般の畑地の場合、夜間の植被による保温効果は大きいことが確かめられている⁷⁷⁾。しかし、砂丘における最低地温は、植被と無植被で差が無く、一般の畑地と異なっている。このように砂丘地の保温効果が一般畑地と異なることについては、土壌の組成の違いによる水分含量、及びそれに基づく地中伝導熱量の差によるものと考えられる。

c. 平均地温

平均地温は深さ5 cmの場合、植被区27.8°C、無植被区28.9°Cとなって最高地温の場合と同様に植被による

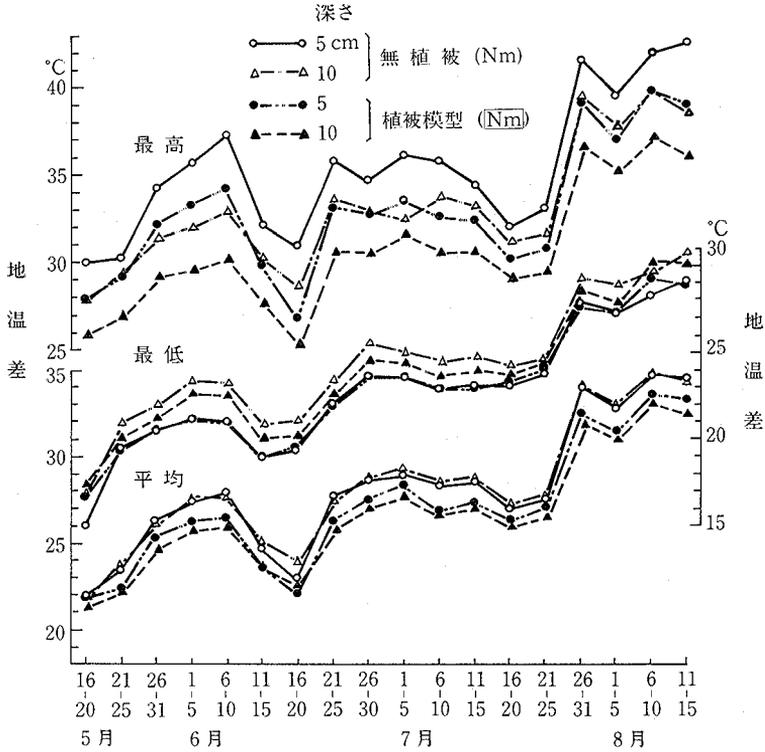


図 5-1 無マルチ区における地温 (Nm, Nm) の季節変化 (1983年)

地温低下が現れている。また、10 cm 地温でもそれが 27.5°C, 29.1°C となって 5 cm と同様に植被区が低い。

以上のように、無マルチの状態では茎葉の繁茂による地温低下は大きい。夜間になると植被による保温効果はみられなく、それは一般の畑地とは異なっている。

(2) マルチ区における植被とフィルムの植穴が地温に及ぼす影響

黒色マルチの各区と無マルチ無植被区 (Nm, 以下これを単に裸地区と呼ぶ), 及び透明マルチの各区と裸地区

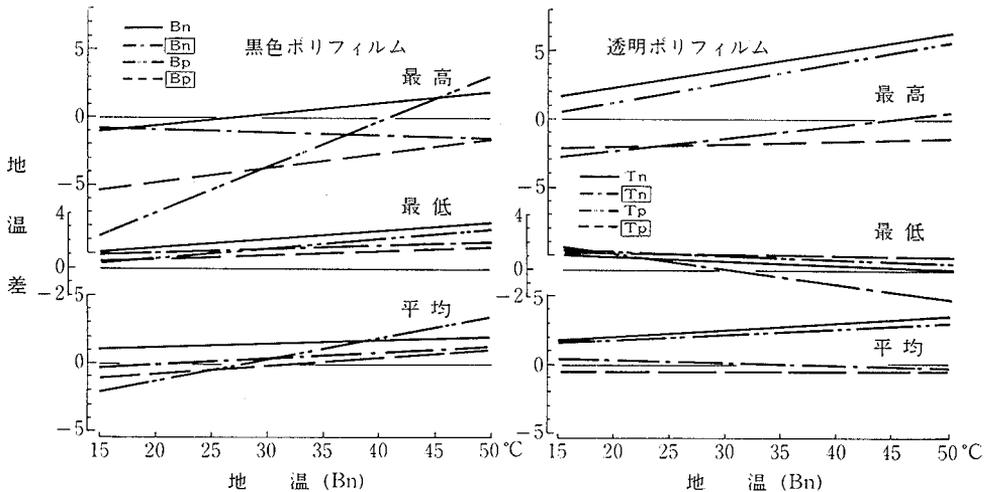


図 5-2 各地温差 (マルチ区-無マルチ区) と無マルチ区の地温との関係 (5 cm 深, 半月平均値)

の地温差を求め、地温差と裸地区の地温との回帰式を求めて、図 5-2 に示した。図 5-2 の横軸は裸地区の地温を、縦軸は黒色マルチ区又は透明マルチと裸地区との地温差であり、それぞれ最高、最低、平均の回帰直線を表した。

a. 最高地温

a-1 黒色ポリマルチ

黒色マルチ無孔の無植被区 (Bn) は、地温が低い段階では地温差は負の値を示し、裸地区より地温が低い。しかし、裸地区の地温が 27°C 以上になると地温差は正を示し、黒色マルチの地温は裸地より高温を示す。

植被区 (\overline{Bn}) は、地温の高低にかかわらず、裸地区と比較して常に地温は低い。

有孔の無植被区 (Bp) は、地温が低い時には裸地区より著しく低温であるが、地温上昇につれて裸地区との地温差は縮まり、38°C 以上になると、無孔植被区の方がむしろ裸地区より高温になる。

一方、有孔の植被区 (\overline{Bp}) では地温が低い時期は、無植被区 (Bp) の場合より地温差は小さい。また、地温上昇につれて、裸地区との差は縮まる。

これらのことから黒色マルチでは、低温な時期においては裸地区より低温である。しかし、無植被の場合、有孔、無孔とも地温が上昇すると裸地区より高温になる。植被がある場合には、黒色マルチは裸地より常に低く、また、無植被の場合より地温上昇に伴う上昇度は小さい。

また、黒色ポリを無孔と有孔において比較してみると、植被の有無にかかわらず、有孔の方が無孔よりも地温低下へ及ぼす影響は大きい。したがって、5月19日から8月15日までの平均 (図 5-3) は、①無孔—無植被、②無孔—植被、③有孔—無植被、④有孔—植被の順に地温は低下しており、植被と植穴は共に地温低下として作用していた。

a-2 透明ポリマルチ

無孔の無植被区 (Tn) は、裸地区よりも常に高温で経過し、しかも、地温が高い程その差は大きい。無孔の植被区 (\overline{Tn}) は、地温が低い時には地温差は負で、裸地区よりも低く、マルチは地温低下の作用を示す。しかし、地温が高くなればほとんど地温差はみられなくなった。

有孔の無植被区 (Tp) の地温は常に裸地区より高く、地温上昇と共に裸地区と透明マルチとの地温差は増大する。

一方、植被が加わると (\overline{Tp})、透明マルチの地温は常に裸地区より低い状態であった。

このように砂丘地の透明マルチでは、無孔、有孔とも、植被がない場合には裸地区の地温よりも常に高温で、マルチは地温を上昇させる作用を示すが、植被がある場合にはむしろ地温は低くなる場合が多い。すなわち、透明ポリのマルチでは植被による日射の抑制が地温に大きく影響を及ぼすことがわかった。なお、一般の畑地 (無

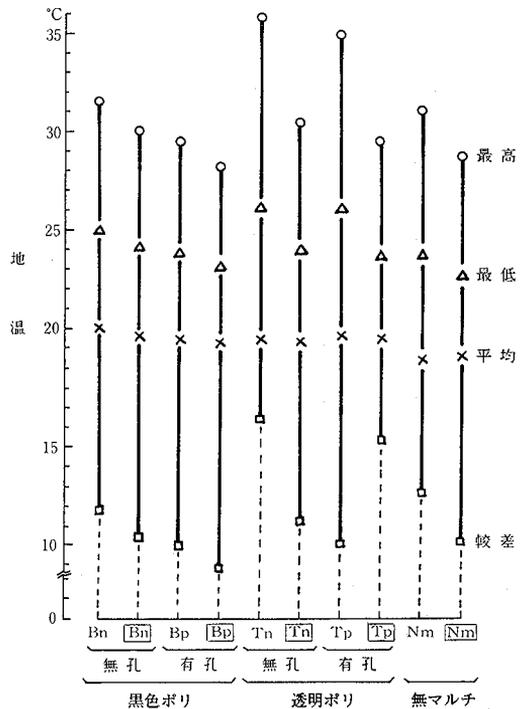


図 5-3 実験期間中における地温の平均値 (地下 5 cm, 1983年 5月19日～8月15日)

孔フィルムを使用)でも、植被の存在によって無植被の場合よりも地温は低下するが、裸地区より下がることはなかった⁷⁷⁾。

期間平均(図5-3)で見ると、透明マルチでは全体的に黒色マルチより地温は高かったが、 $T_n - T_p$ (無孔無植被区—有孔無植被区)、 $\overline{T_n} - \overline{T_p}$ (無孔植被区—有孔植被区)間の差は僅少で(0.8°C, 1.0°C)、したがって植穴の有無が地温に及ぼす影響は小さかった。また、無孔(T_n , $\overline{T_n}$)と有孔(T_p , $\overline{T_p}$)における植被の存在は、いずれも大幅な地温低下をもたらした。このことは、透明マルチによる地温上昇が日射の透過性に依存する度合の大きいことを示している。裸地区でも、植被による地温低下は大きかった。

以上、マルチフィルムの日射の透過性の大小(黒色ポリ9.0%, 透明89.8%)によって、異なった地温効果がみられた。

b. 最低地温

b-1 黒色ポリマルチ

無孔及び有孔の無植被区及び植被区とも、常に裸地区より高温となって保温効果は認められるが、地温が低い時にはその効果が小さい。しかし、全体的な傾向として、有孔は無孔より保温効果は若干劣るようである。

なお、一般の畑地の場合(植被区)でも、無孔と有孔間の差は小さかったが(第2章第3節)、砂丘地の場合と異なって、地温が低い時ほど保温効果は大きかった。

b-2 透明ポリマルチ

無孔の植被区($\overline{T_n}$)を除き、各区とも常に保温効果はみられるが、地温が高くなるにつれて裸地区と透明マルチとの地温差は小さくなる。無孔の植被区($\overline{T_n}$)は30°C以上になると裸地区より低くなる。

このように最低地温からみて、透明マルチでは黒色マルチと同様に保温効果はあるが、無孔に植被が加わると保温効果は急減する傾向がみられる。これに対して、一般の畑地の場合では、最高地温の場合と同様、植被の有無にかかわらず保温効果が大きく出現している⁷⁷⁾。

なお、期間平均(図5-3)で見ると、黒色マルチ、透明マルチの8区ともに植被と植穴の有無にかかわらず区間差は小さいが、全体的に裸地黒色ポリエチレンより高く(0.9~1.6°C)、保温効果が認められた。

c. 平均地温

c-1 黒色ポリマルチ

無孔の無植被区(B_n)の地温は、地温の変化(22.1~34.8°C)にかかわらずほぼ一定して、裸地区より高温1.0~1.5°Cである。植被が加わると、地温が低いところでは黒色マルチは裸地区より低温であった。

有孔の無植被区(B_p)では、最高地温の場合と傾向は近似しているが、裸地区の地温との差は小さい。植被が加わると($\overline{B_p}$)、裸地区との地温差は無植被区の場合よりも縮小している。

c-2 透明ポリマルチ

無孔、有孔ともに、無植被区(T_n , T_p)にはいずれも裸地区の地温よりも高温(1.7~3.3°C)で経過するが、植被が加わると地温低下が著しい($\overline{T_n}$, $\overline{T_p}$)。一方、無孔の植被区($\overline{T_n}$)では、裸地区の地温とほぼ同じ値を示し、有孔の植被区($\overline{T_p}$)では裸地区の地温のいかにかわらず常に温度が低い(約0.4°C)。

以上のように、日中の黒色マルチでは植被の有無にかかわらず、裸地区の地温が上昇するにつれて各マルチ区の地温は裸地区よりさらに高温となるが、透明ポリでは植被がある場合にはほとんど差がみられない。

なお、期間平均(図5-3)で見ると、最低地温の区間差が小さいために最高地温の場合と同じ傾向を示している。

(3) マルチ区の地温と一般気象条件との関係

フィルムマルチの植穴の有無が地温に与える影響をみるために、マルチ区 (Bn, Bp, Tn, Tp) と裸地区 (Nm) との地温差を使って気象要素との関係を検討した。

深さ 5 cm の日最高・最低地温を目的変数とし、気象要素を説明変数とした多変量解析を行った。気象要素は鳥取大学砂丘利用研究施設の観測露場で得られた 1 日の最高気温、最低気温、気温較差、平均気温 ((最高+最低)/2)、湿度 (9 時)、日照時間、日射量、降水量、蒸発量、平均風速、最大風速、雲量 (9 時)、の計 12 項目である⁶⁴⁾。

これらの計算は、前述 (第 2 章第 3 節) と同様に行い、その結果を表 5-5 に示した。

表 5-5 マルチ区地温(地下 5 cm)に関する重回帰分析

目的変数		標準偏回帰係数	重相関係数	
最高地温の差	黒色ポリ	無孔 (Bn-Nm)	$-0.459(Du) - 0.452(Ta) + 0.350(Um)$	0.615**
		有孔 (Bp-Nm)	$-0.542(Du) + 0.352(Hu)$	0.759**
	透明ポリ	無孔 (Tn-Nm)	$-0.402(Pr) - 0.307(Hu)$	0.576**
		有孔 (Tp-Nm)	$-0.708(Pr) - 0.280(Du)$	0.573**
最低地温の差	黒色ポリ	無孔 (Bn-Nm)	$-0.301(Ev)$	0.270*
		有孔 (Bp-Nm)	$-0.321(Ev)$	0.292*
	透明ポリ	無孔 (Tn-Nm)	$+0.434(Ac) - 0.310(Pr)$	0.404**
		有孔 (Tp-Nm)	$-0.237(Ta)$	0.193

注) Du: 日照時間, Ta: 最低気温, Um: 最高風速, Hu: 平均湿度, Pr: 降雨量, Ev: 蒸発量, Ac: 雲量, *: 5%水準で有意, **: 1%水準で有意.

表によると、各関係式における変数は 1～3 個で、得られた重相関係数の範囲も 0.193～0.759 と広い。これは普通の畑地で行った結果 (第 2 章第 3 節) に比べると大きな差がある。すなわち、畑地の場合は最高・最低地温を通じて選択された説明変数の数は 2～5 個で、砂丘地の場合より多く、重相関係数も 0.766～0.824 となって全体的に高い。

これらの差異については、砂丘地に比べて畑地の説明変数はその数が多いこと (土壌水分と降雨の 2 個の変数が多い)、各要素の測定間隔が異なり、さらに砂丘地では土壌水分の変数を組み込んでいないことなどの影響も考えられる。

最高地温について黒色マルチ (Bn, Bp) をみると、両区には日照時間 (Du) が共通に取り込まれ、またその変数は各区の地温に最も大きく影響を及ぼしていることが、高い係数に表れている。無孔区 (Bn) に風の要素が選択されているのは、前述 (第 2 章第 3 節) の畑地の無孔マルチにおける場合と一致している。

一方、透明マルチ (Tn, Tp) では、降水量 (Pr) が共通して選択されており、それらの地温に及ぼす影響も選択された変数の中で最も大きい。この他に、無孔区 (Tn) では湿度が、有孔区 (Tp) では日照時間がそれぞれ選択されている。

最低地温について黒色マルチ (Bn, Bp) では、蒸発量 (Ev) のみが共通して選択されているが、地温との相関性はかなり低い。一般の畑地 (黒色ポリ) では変数が多く、重相関係数も高かった (約 0.80)。

透明マルチ (Tn, Tp) においても、最低地温については相関性は低かった。

以上のように、最高地温は黒色マルチでは日照時間が、透明マルチでは降雨量が、それぞれの無孔区、有孔区においては共通して大きく影響を及ぼしていることが明確である。一方、最低地温では、黒色マルチ、透明マル

チともを選択された気象要素との相関関係は低かった。

なお、これらマルチによる地温と気象要素に関する重回帰分析においては、各地温差（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、及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もあるため、今後はそれらの機構を検討する問題が残されている。

(4) 各処理区における地温の出現傾向

地温の効果を表す場合、前述（図 5-3）のような期間中の平均による表示では、単に一面的な意味しかなく、期間中に生じるマルチ区が裸地区より低温、または高温となることがどの程度発生するかという温度変化の動的な現象は全く捕えられない。そこで、黒色ポリ区と透明ポリ区の 2 区を裸地区と比較し、それらの 3 区間の高低順位の出現頻度を求め、表 5-6 に表した。なお、3 区の大小関係には計 13 通りの組み合わせがあるが、今回はこれらの組み合わせの中から最多出現頻度を示した 1 組を表した。3 区を選んだのは、2 種のマルチ、植穴及び植被の有無の各状態を、それぞれ裸地と同時に比較しようとしたためである。

表 5-6 の高低関係における最多出現頻度は、全体として 20.8% から 72.7% に及んでいるが、前述の期間平均値による高低関係（図 5-3）とは一致している場合が多い。しかし、頻度の低い 11 組（図中の 20.8% ~ 57.1% の範囲の * 印）については一致していない。

さらにこの砂丘地の場合を最高、最低、平均、較差の項目ごとに見ると、最多出現頻度と期間平均値の不一致は、最高地温で最も少なく（8 組中 1 組）、最低地温で最も多かった（同 4 組）。この最低地温において不一致が多いことは、マルチによる地温効果を、期間中の平均値で示すことが、凍霜害発生時などに問題のあることを示唆している。

なお、この出現頻度による傾向と平均値における傾向の不一致の理由は、前述（第 2 章第 1 節）したようにそれら両者の地温効果のとらえ方の質的差異にもとずいて、不一致が出現したものと考えている。

一般の畑地では、最多出現頻度の大多数は 74~97% と高く、また頻度による大小関係と平均値によるものとはその傾向が比較的良好に一致していた（第 2 章第 1 節）。つまり、畑地の場合、地温効果としては安定していたものと解され、砂丘地の場合とはかなり異なっている。

以上のように、砂丘地におけるマルチの地温効果を地温の高低関係の出現頻度でみた場合、一般の畑地におけるよりも一定せず、特にそれは最低地温において著しい。

表 5-6 地温の各高低順位の

3 区の組み合わせ			最 高
黒色ポリ—透明ポリ	無 孔	無植被	$T_n > B_n > N_m$ (44.2)
		植 被	$\overline{B_n} > \overline{T_n} > \overline{N_m}$ (23.4)
	有 孔	無植被	$T_p > N_m > B_p$ (63.6)
		植 被	$\overline{T_p} > \overline{B_p} > \overline{N_m}$ (20.8)
無 孔—有 孔	黒色ポリ	無植被	$B_n > N_m > B_p$ (24.7)
		植 被	$\overline{B_n} > \overline{B_p} > \overline{N_m}$ (35.1)
	透明ポリ	無植被	$T_n > T_p > N_m$ (59.7)
		植 被	$\overline{T_n} > \overline{T_p} > \overline{N_m}$ (57.1)*

注) * : 図 5-3 における地温の順位との不一致を示す。

表 5-7 各区における土壌含水率 (%)

区	深さ	1983年 5月19日		1983年 7月29日	
		5 cm	10 cm	5 cm	10 cm
黒色ポリフィルム	Bn	3.4	3.5	1.7	2.3
	Bn	3.5	4.1	2.0	2.7
	Bp	4.1	4.5	2.2	3.3
	Bp	3.2	3.7	2.3	3.1
透明ポリフィルム	Tn	3.4	3.7	2.0	3.3
	Tn	3.4	3.4	2.4	3.3
	Tp	3.1	3.4	2.3	3.2
	Tp	3.5	3.6	2.8	3.4
無 マ ル チ	Nm	2.8	3.2	0.6	2.8
	Nm	3.3	3.5	1.7	3.1

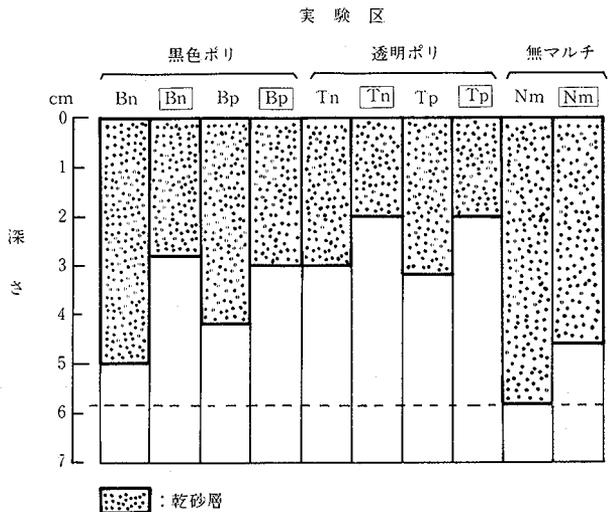


図 5-4 各区における乾砂層の深さ (1983年 7月29日)

最多出現頻度 (%)

最低	平均	較差
Bn > Tn > Nm (54.5)	Tn > Bn > Nm (72.7)	Tn > Nm > Bn (61.0)
Bn = Tn > Nm (44.2)	Bn > Tn > Nm (46.8)	Tn > Bn > Nm (27.3)*
Bp > Tp > Nm (35.1)*	Tp > Nm > Bp (45.5)*	Tp > Nm > Bp (70.1)
Bp = Tp > Nm (59.7)	Bp = Tp > Nm (32.5)*	Nm > Tp > Bp (28.6)*
Bn > Bp > Nm (45.5)	Bn > Nm > Bp (44.2)*	Nm > Bn > Bp (48.1)
Bn > Bp > Nm (36.4)*	Bn > Bp > Nm (53.2)	Bn > Nm > Bp (28.6)
Tn = Tp > Nm (48.1)*	Tn > Tp > Nm (45.5)	Tp > Tn > Nm (55.8)
Tn = Tp > Nm (35.1)*	Tn = Tp > Nm (49.4)	Tn > Tp > Nm (20.8)*

3) フィルムマルチと土壤水分

(1) 土壤水分

マルチフィルム下の土壤水分含量が、一般の畑地では、無マルチ（裸地）より高く経過することは既に知られているが（第1章～第4章）、砂丘地についても土壤水分の測定を行った（表5-7）。

5月19日では裸地区（Nm, 5cm深で2.8%）に比べて黒色ポリ（Bn, \overline{Bn} , Bp, \overline{Bp} ）と透明ポリ（Tn, \overline{Tn} , Tp, \overline{Tp} ）の含水率は、植被と植穴の有無にかかわらず高い傾向にあり（5cm深で0.3～1.3%の増）、7月29日ではさらにその傾向が顕著（同1.1～2.2%の増）であった。

無マルチの植被区（ \overline{Nm} ）は5cm, 10cmの深さで裸地区（Nm）よりも、5月19日、7月29日を通じて0.3～1.4%ほど高い含水率を示した。マルチ区では、明確な傾向はみられなかった。

(2) 乾砂層

砂丘地では地表面付近の土壤水分含量が著しく低下するため、乾砂層が形成される。そこで図5-4に、各区の乾砂層の深さを示した。

図によると、乾砂層の発達著しいのは裸地（Nm）で、ここでは乾砂層が約6cmに達しており、この深さは夏季に晴天が続いた時の積算日射量に換算して、約 $2600 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ （経過日数6日）に相当して生じるようである⁴¹⁾。

また、無マルチで植被（ \overline{Nm} ）のある場合も、乾砂層にたいする影響は大きく、裸地より約1.5cmほど浅いのみであった。

次に黒色ポリの場合は①無孔—無植被（Bn）、②有孔—無植被（Bp）、③無孔—植被（ \overline{Bn} ）と有孔—植被（ \overline{Bp} ）の順に乾砂層は浅いが、透明ポリの場合は①無孔—無植被（Tn）と有孔—無植被（Tp）の方が、②無孔—植被（ \overline{Tn} ）と有孔—植被（ \overline{Tp} ）の場合より深かった。

このように、①黒色マルチでは植穴と植被が共に乾砂層の発達を抑制する傾向にあるのに対し、②透明マルチでは植穴による影響はみられない。しかし、マルチは全体的に乾砂層の発達を抑制する働きがあり、土壤水分保持の作用が、乾砂層の形成の面からも認めることができる。

以上の観測の結果、フィルムマルチにおける熱収支は、一般畑地の場合と傾向的にはよく類似するが、マルチと植被による地温効果では異なる点が幾つか見出された。

すなわち、砂丘地ではマルチの地温効果を一般気象要素との関連でみた場合、重相関係数は小さく、選択された変数も少ないこと、最低地温の場合、地温効果は余り一定しないこと、さらにマルチの無い裸地区では、夜間、植被による保温効果はほとんどないことなどである。

第2節 要 約

ここでは、砂丘におけるフィルムマルチと植被（模型）による地温効果を、微気象的に明らかにすることを目的とした。

すなわち、フィルムは黒色ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm）と透明ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm）を使用して、1983年の5月から8月にかけて砂丘地研究圃場実験区の熱収支、地温、土壤水分等の微気象観測を行った。

得られた結果は、下記のごとくである。

(1) マルチ区の熱収支の日量を、純放射に対する各項の割合で示すと、黒色マルチでは純放射量のほとんどが顕・潜熱伝達量で占められ（96%）、地中伝導熱量はわずか4%であった。他方、透明マルチでは顕・潜熱伝

達量の占める割合が75%で、黒色マルチより減少し、それだけ地中伝導熱量の割合が増えた(25%)。これら熱収支の傾向は砂丘地の場合も、一般の畑地の場合と大差はない。

(2) 無マルチの状態において日中(最高地温)は、植被により地温は著しく低下した。夜間(最低地温)になると、一般の畑地において植被による保温効果が大きいのに対し、砂丘地では効果がみられなかった。

(3) 黒色マルチでは、植穴と植被による日中(地下5cm最高地温)の地温低下はいずれも大きいですが、透明ポリ区では植穴による影響は小さい代わりに、植被による地温低下は顕著であった。夜間(最低地温)になると、黒色マルチでは植穴と植被の有無にかかわらず保温効果はみられ、その効果は地温が高い時期ほど大きく、その傾向は一般の畑地とは逆であった。透明マルチでも保温効果はみられたが、植穴が無い状態で植被がある場合、効果は急減した。

(4) 黒色マルチ、透明マルチによる地温効果(地下5cm)を、一般の気象要素との関連でみた結果、両マルチの植穴の有無に関係なく、黒色ポリ区の最高地温では日照時間が、透明マルチでは降雨量がそれぞれの地温に大きく影響を及ぼしている。

(5) 砂丘地におけるマルチの地温効果(地下5cm)を黒色マルチ、透明マルチ、無マルチの3区間の地温(最高、最低、平均、較差)の高低関係の出現頻度でみた結果、それらの中の最多の出現頻度のものは20.8%から72.7%に及んで、一般の畑地の場合よりもその割合は低く、このことからマルチによる地温効果は砂丘地ではあまり一定しないことが示された。

結 語

マルチの地温効果についてのこれまでの研究は、作物を導入しないマルチ資材のみによる地温効果を論じているか、あるいは、各種のマルチ資材によって栽培を行い、収量の面から使用したマルチ資材の優劣を事例的に比較している場合とに大別できる。マルチ栽培における作物植被の繁茂による影響と、マルチ資材のみによる影響はいずれの場合も明確に区別されていない。さらにマルチによる地温効果は、栽培期間中の気象変化に伴って変化するにもかかわらず、それらの関連性が定量化して検討されていない。

このような点を明確化することにより、合理的マルチ栽培体系の基礎が確立できるものと考え、マルチの地温効果に関する研究を行った。本研究は、次のようにして行った。

まず、各マルチ資材によって栽培（大豆・甘藷）を行い、マルチによる地温と生育差との関係を調べ、使用した各マルチ資材による効果を主に熱収支、接地気温・地温の面から比較した。また、マルチ資材をその被覆方法、植穴の有無の面からも検討した。次に、マルチと植被による地温効果について、植被模型と大豆植被を用いて調べ、また、それらの効果は被覆施設においても明らかにした。そして、マルチによる効果は土性によって異なるので、砂丘地においてもそれらの効果について明らかにした。

以下に、これらの結果を項目別に総括し、結語とする。

[マルチによる栽培]

アルベドの極端に違ったマルチ資材、即ち、黒色ビニールフィルム（黒色ビニール区）、アルミ箔（アルミ区）を用い、また断熱材としての白色発泡スチロール板により被覆を行い（断熱区）、さらにその板のかけはずしを行って（夜間断熱区、大豆栽培に適用）、マルチの種類とその被覆時間の相違による地温が大豆と甘藷に及ぼす影響をみた。

(1) 大豆栽培においては、各マルチ資材による地温の高低関係（栽培当初の2cm深の半旬平均値、黒色ビニール区>夜間断熱区>アルミ区>断熱区>無マルチ区）は明らかであったが、植被繁茂に伴って区間差は小さくなり、一部の区間では地温の逆転が生じた。栽培の結果、子実重は断熱区が最も多く、無マルチ区の約30%増であった。これは断熱区の日較差が最も小さかったことに対応していた。

(2) 栽培結果としての塊根重は黒色ビニール区に最も多く（584g/株）、断熱区は少なく（98g/株）、このことは黒色ビニールによる高地温とその変化の大きいことが甘藷栽培に有利であることを示していた。なお、期間中の地温（2cm）は最高地温で、黒色ビニール区>無マルチ区>アルミ区>断熱区となり、地中各深さの地温変動も黒色ビニール区が最も大きかった。

このように、大豆、甘藷共に各マルチ資材によって作り出される地温環境によって生育差が生じ、収量の多少がみられた。

[フィルムマルチと地温]

A. マルチとアルベド

マルチ資材として、黒色ビニールとアルミ箔を用い、地温特性をみた。

(1) 黒色ビニール区ではアルベドが低いために、対照区の裸地に比べて日中の純放射量、顕熱伝達量の増加は著しいが、アルミ区では逆にそれは低かった。地中伝導熱量については、マルチの2区共に裸地より少ない量であった。

(2) 黒色ビニール区ではその低いアルベドにより、フィルムを境に接地気温・地温は高く変動幅も大きい。

アルベドの高いアルミ区で逆の結果となり、このことからマルチにおいては資材のアルベドの大きさが温度を大きく決定づけるものとなった。

B. マルチ被覆時間と地温

マルチの被覆時間を夜間に限定し、地温上昇を計るために実験を行った。実験区として、白色発泡スチロール板のマルチを終日したままの断熱区、それを夜間行った夜間断熱区、対照区としての無マルチ区を設けた。

(1) 各区の熱収支をみると、断熱区では純放射量のうち地中伝導熱量の占める量は無視できる程小さく(2%)、他は顕・潜熱伝達量である。夜間断熱区では地中伝導熱量の割合は21%もあり、これは対照区の13%より大きくなっており、夜間被覆の効果が現れている。

(2) 夜間の地温は各区ともに地表面がもっとも低いが、各区の深さ平均(0-20 cm)でみると、夜間断熱区(5.7°C)>断熱区(5.0°C)>無マルチ区(2.5°C)となり、夜間断熱区で最も高温で維持されている。昼間では、夜間断熱区(8.7°C)>無マルチ区(6.9°C)>断熱区(5.9°C)となり、さらに日平均、日較差においても夜間断熱区がもっとも高く経過しており、マルチの被覆時間を限定することによる温度効果は顕著に得られた。

C. フィルムの植穴と地温

マルチ資材として黒色ポリエチレンフィルム(厚さ0.04 mm)を用い、植穴(径5.5 cm)のある有孔マルチ区と、その無い無孔マルチ区を設けた。その場合、植被の影響もみるために、寒冷紗による日射抑制を行って植被繁茂によるものとした。

(1) 熱収支からみた有孔マルチ区と無孔マルチ区間の差は、各収支項ともに僅少であった。

(2) 有孔、無孔マルチの地温を一般の気象要素との関係からみた結果、両区共に土壤水分による影響が大きかった。また、有孔マルチでは降雨が(最低地温)、無孔マルチでは風速がそれぞれ深く関連しているようである(最低地温、地温日較差比)。

(3) マルチの地温効果を地温の日較差比でみた場合、植被(模型)だけの場合と、それにマルチが加わった複合効果の場合とは大差が無かった。また、有孔と無孔の比較では、有孔マルチの日較差比が無孔マルチより小さく、すなわち地温変化が小さいことから、植被繁茂による影響は有孔マルチのほうが無孔マルチより大きいことが判明した。

以上のようにマルチ下の地温はマルチのアルベド、マルチ被覆時間、植穴の存在、及びマルチ資材の特性によって顕著に変化することが明らかになった。

[フィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響]

A. 植被模型による場合

(1) 黒色ポリエチレンフィルムの畦面マルチによる熱収支特性は、前述した黒色ビニールの場合と同様に純放射量の昼間量、日積算量ともに増大し、さらに顕熱伝達量として使われる割合の増加することである。

(2) 寒冷紗による植被模型が地温に及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、低温な時期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する。

(3) 植被模型とマルチの複合効果についてみると、昼間の最高地温では、マルチあるいは模型単独の効果とは若干異なって、模型による透過率が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上昇と相殺される。しかし、6~12%の区では、地温の低下が対照区裸地の地温が高温になるほど大きく、対照区が約12°C以下になると、日射抑制の効果も極めて小さくなる。

B. 大豆植被による場合

(1) 熱収支についてみると、使用した植穴（径5.5 cm）のあるフィルムマルチでは、特に夜間の顕・潜熱伝達量が大きく、無マルチ区の約3.7倍（6月4日）にもおよんだ。植被の効果としては、その繁茂度によって熱収支は大きく影響をうけ、マルチの有無にかかわらず植被がある大きさに達すると、熱収支各項の純放射に対する割合がほぼ一定してくる。

(2) 大豆植被の単独効果を畦面上の日射透過率との関連でみると、透過率23%の場合、植被の効果は無マルチ区におけるよりマルチ区の方が1.7°C（最高地温）も大きかった。

植被とマルチの複合効果を地温でみると、マルチは最高地温に対しては、一種の緩衝作用を有して、地温変化を小さくしており、最低地温においては、植被単独の場合より保温性が増加する。

(3) マルチの効果を地温の日較差比（処理区/対照区）で示すと、マルチにおいては日射の増加に伴って日較差比は減少し、日射量が $486 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ で効果は消滅した。植被、および植被とマルチの複合効果を地温と日射透過率との関係からみると、両者間の相関（正）は高く、また、透過率の程度、つまり茎葉の繁茂度が同じ場合（40%以上）、マルチ区の方が無マルチ区より日較差比が大きかった。植被とマルチの場合では、さらに日較差比は小さくなった。

以上、植被模型による地温効果はマルチの有無によって異なること、さらに植被模型にマルチが加わった複合効果の場合においても地温差がみられた。大豆植被においても、それが地温に及ぼす効果はマルチの有無で異なるが、全般的な傾向は先の植被模型の場合と一致した。模型と大豆植被間の若干の差異については、それらの植被とマルチがもたらす土壌水分量によるものと考えられた。

〔被覆施設におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響〕

A. トンネルにおける場合

(1) マルチの単独効果を最高地温（地下5 cm）でみると、露地では約 $140 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ の日射量で地温差（マルチ—無マルチ）が得られたが、トンネル内ではそれが約 $80 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であり、露地、トンネル共に日射量の増大に比例して、地温の上昇の程度が大きくなった。

(2) マルチと植被模型による地温効果を地温日較差比からみると、模型単独の場合、それが日射量を強く制御するほど日較差比は小さくなるが、その程度はトンネル内の方がわずかに露地よりも小さい。マルチと植被模型の複合効果でもその傾向は同じである。

(3) 夜間におけるトンネル内の植被模型による保温効果は、露地の場合より大きく、それにマルチが加わると保温の効果は一層顕著になる。

(4) トンネル栽培における大根（植被）の地温に対する影響の度合は、マルチの有無とはほとんど関係なく、しかも生育の初期におけるほどそれは大きかった。

B. ハウスにおける場合

(1) ハウス内の熱収支をみると、純放射量では日中、マルチの方が無マルチより12%も多く（4月18日）、顕・潜熱伝達量もマルチの方が11%多かった。しかし、地中伝導熱量では逆にマルチの方が無マルチよりも6%低かった。

なお、ハウスと露地との比較では、各収支項とも全体的にハウスの方が小さかった。

(2) マルチの単独効果を最高地温（地下5 cm）でみると、露地（無孔フィルム）のマルチでは日射量が $123 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ において地温効果（マルチ—無マルチ）が得られたのに、ハウスではそれが $0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ でも効果が認められ、マルチによる地温上昇が顕著であった。この効果のトンネルの場合（上記の2.）との差異は、

両実験日の気象状態にもよるが、保温比（ハウス：0.37，トンネル：0.51），換気の有無（ハウスでは適宜換気をした）が関係したものと考えられた。

(3) 植被模型がマルチ下の地温に及ぼす効果は、ハウス被覆の有無で大差はなかった。また、ハウスの夜間における保温効果はトンネルの場合ほど大きくはなかったが、この原因として土壌水分が考えられた。

(4) マルチと日射抑制（植被模型）による地温効果を地温日較差比からみると、日射抑制の単独効果、及び日射抑制とマルチによる複合効果のいずれの場合も、日射を強く制御するほど日較差比は小さくなった。しかし、それらの諸効果はハウスト露地間では大差がなく、これはトンネルの場合と違っており、土壌水分からの検討の必要性が考えられた。

以上のようにトンネルでは露地におけるより、日中のマルチと植被による地温上昇は顕著で、夜間における保温効果も優れていた。また、ハウスではトンネルの場合と傾向は一致したが、効果の差については施設容積、換気の有無及びマルチ下の水分含量が考えられた。

〔土性の相違とマルチ効果〕

(1) マルチ区の熱収支の日量を、純放射に対する各項の割合で示すと、黒色ポリ区では純放射量のほとんどが顕・潜熱伝達量で占られ（96%），地中伝導熱量はわずか4%であった。他方、透明ポリ区では顕・潜熱伝達量の占める割合が75%で、黒色ポリ区より減少し、したがってそれだけ地中伝導熱量の割合が増えた（25%）。これら熱収支の傾向は砂丘地の場合も一般の畑地の場合と大差はない。

(2) 黒色ポリ区では、植穴と植被による最高地温（地下5cm）の低下は全体的にいずれも大きい一方、透明ポリ区では植穴による影響は小さい代わりに、植被による地温低下は顕著である（対照区地温50°Cの時最高約7°C）。

(3) 黒色ポリ区と透明ポリ区による地温効果（地下5cm）を、一般の気象要素との関連でみた結果、両マルチの植穴の有無に関係なく、黒色ポリ区の最高地温では日照時間が、透明ポリ区では降雨量がそれぞれの地温に大きく影響を及ぼしている。

(4) 砂丘地におけるマルチの地温効果（地下5cm）を3区間（黒色ポリマルチ、透明ポリマルチ、無マルチ）の地温（最高、最低、平均、較差）の高低関係（計13組）の出現頻度でみた結果、それらのうちの最多の出現頻度のものは20.8%から72.7%に及んで、一般の畑地の場合よりもその割合は低く、このことからマルチによる地温効果は砂丘地では不安定であることが示された。

以上のことから砂丘地では、一般畑地に比べてマルチと植被による地温効果が地温の高低、及びその安定度の点で異なることが明らかになったが、地温効果が不安定であることは砂丘地でのマルチ栽培計画において無視できない要因であると考えられた。

引用文献

- 1) 青木茂一 (1954) : 土壌と植生, 養賢堂, 77-109.
- 2) ARCHIBALD, J. A., CLINE, R. A. and H. J. REISSMANN (1965) : Soil moisture and temperature relationship as influenced by surface mulching. *Rep. Ont. Hort. Exp. Stats Prod. Lab. for 1965*, 23-28.
- 3) BENNETT, O. L., D. A. ASHLEY, and B. D. DOSS (1966) : Cotton responses to black plastic mulch and irrigation. *Agron. J.*, **58**, 57-60.
- 4) BLACK, A. L. and B. W., GREB (1962) : Nitrate accumulation in soils covered with plastic mulch. *Agron. J.*, **54**, 366.
- 5) CLARKSON, V. A. (1960) : Effect of black polyethylene mulch on soil and microclimate temperature and nitrate level. *Agron. J.*, **52**, 307-309.
- 6) 大後美保・丸山栄三 (1952) : 敷藁の効果に対する微気象学的研究, 農業気象, **7**(2), 38-42.
- 7) DAVIES, J. W. (1975) : Mulching effect on plant climate and yield. *WMO technical note*, No. **136**, 1-92.
- 8) FRYREAR, D. W. and P. T. KOSHI (1971) : Conservation of sandy soil with a surface mulch. *Transactions of the ASAE*, **14**(3), 492-495.
- 9) 富士岡義一・松田松二・市村一男・中山敬一・山本雄一郎 (1964) : 水稻の生育に伴う微気象要素と E-T について (1)-蒸散量と繁茂度との関係一, 農業土木研究別冊, **10**, 36-42.
- 10) 古谷義人 (1950) : 夜温の差が大豆の生育及び結実に及ぼす影響, 農及園, **25**, 251-252.
- 11) GEIGER, R. (1965) : The climate near the ground. *Harvard University Press*, 153-166.
- 12) HARPER, F. and R. C. FERGUSON (1979) : The effect of bitumen mulch and sowing date on the establishment and yield of soil-seed sunflower (*Helianthus annuus L.*), *J. Agric. Sci., Camb.*, **93**, 171-180.
- 13) HARRIS, R. E. (1965) : Polyethylene covers and mulched for corn and bean production in northern regions. *Proc. Amer. Soc. Hoc. Sci.*, **87**, 288-294.
- 14) 長谷川浩・八尋 健 (1955) : 甘藷の生育と地温との関係 (第1報), 九州農業研究, **16**, 83.
- 15) 平野達也 編 (1974) : 野菜のマルチ, トンネル栽培, 誠文堂新光社, 2-15.
- 16) HOPEN, H. J. (1965) : Effects of Black and Transparent polyethylene mulches on soil temperature, sweet corn growth and maturity in a cool growing season. *Proc. An. Soc. Hortic. Sci.*, **86**, 415-420.
- 17) 堀口郁夫・井上 孝 (1968) : ビニールマルチによる地温上昇, 日本農業気象学会北海道支部会誌, **19**, 12-16.
- 18) 稲田勝美 (1971) : マルチ用緑色フィルムの原理とその利用効果, 農業および園芸, **46**(1), 17-22.
- 19) ————・山本雅子 (1971) : マルチ用着色フィルムに関する研究, 日作紀, **40**, 132-140.
- 20) Ito, T. (1978) : Areas of greenhouses, tunnels, and mulches in Protected Cultivation in Japan. (ed by Mihara, Y.), *Giken Printing Co., Ltd.*, Tokyo, 4-6.
- 21) 五島一成 (1982) : ニンニクのマルチ栽培における施肥法, 農業および園芸, **57**, 1176-1180.
- 22) 香川大学農学部科学研究委員会編集 : 農学部気象月報, 1980年1月-1982年12月.
- 23) 神近牧男・松田昭美 (1976) : 鳥取砂丘の気候に関する研究, 砂丘研究, **23**(2), 56-61.
- 24) ————・————・衛藤隆義 (1980) : マルチによる砂丘地の地温調節について, 砂丘研究, **27**(2), 57-61.
- 25) ————・———— (1981) : マルチによる砂丘地の地温調節について—畦面の均平度とフィルムマルチの温度効果一, 砂丘研究, **28**(1), 27-34.
- 26) 金関四郎 (1968) : 小型被覆栽培施設の微気象研究, 大阪府立大学紀要, 農業・生物学, **20**, 49-121.
- 27) 笠原安夫・西 克久 (1964) : プラスチックフィルムのマルチによる照度, 湿度, 土壌水分, 土壌 Ph の変化とレタスの生育及び雑草防除との関係, 農業研究, **50**(2), 79-102.
- 28) 河口至南 (1979) : 多変量解析入門 I, 森北出版, 1-161.
- 29) 加藤一郎・古谷義人・尾崎 薫 (1962) : 作物体系第四編, 豆類, 9-67, 養賢堂.
- 30) 狩野春一 (1972) : 建築材料工学ハンドブック (狩野春一編), 地人書館, 1157-1164.
- 31) KATAN, J. (1981) : Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch. Numerical and experimental studies, *Soil Science*, **131**(2), 82-87.
- 32) KATAN, J., A., Greenberger, H. Alon and A. Grinstein (1976) : Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, **66**, 683-688.

- 33) 熊倉喜八郎・石川元一 (1970): 連作落下生に対する輪作とマルチ栽培の効果, 農業技術, **25**, 431-432.
- 34) 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), 105-109.
- 35) 久米英夫・吉田恵美子 (1969): タバコ栽培における地温・土壌水分に対するフィルムマルチの影響について, 生物環境調節, **6**, 81-86.
- 36) 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** (2), 41-47.
- 37) 小林和彦・吉川雅夫・野口正樹・池田澄男 (1978): 愛知県尾張地域におけるホウレンソウの収量と気象要因との関係について, 日本農業気象学会東海支部会誌, **34**, 35-39.
- 38) MAHRER, Y. (1979): Prediction of soil temperature of a soil mulched with transparent polyethylene, *J. Appl. Mete.*, **18**, 1263-1267.
- 39) MAHRER, Y. and J. KATAN (1981): Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch. Numerical and experimental studies *Soil Science*, **131** (2), 82-87.
- 40) 松田昭美 (1970): 砂丘地の微気象特性, 特に地表面温度と土壌水分の関係について, 砂丘研究, **17**, 53-57.
- 41) 松田昭美 (1982): 砂丘地における飛砂とその防止対策について, 第19回自然災害総合シンポジウム講演要旨集, 227-230.
- 42) ———・神近牧男・安東登志広 (1977): 砂丘地の地面付近における温度の垂直分布について, 鳥大砂丘研報, **16**, 9-13.
- 43) ———・西内 光 (1978): 土壌面被覆による地温制御に関する研究 (I), 環境科学総合研究年報, **6**, 163-169.
- 44) ———・西内 光 (1979): 土壌面被覆による地温制御に関する研究 (II), 環境科学総合研究年報, **7**, 161-167.
- 45) 松田松二 (1965): 水稻野生育に伴う微気象要素と E-T について (V) —水稻植被のマルチ作用と収量—, 農業土木学会論文集, **15**, 7-11.
- 46) MILLER, D. E. and BUNGER, Wn. C. (1963): Use of plastic soil covers in sweet corn production, *Agron. J.*, **55**, 417-419.
- 47) 宮川英一 (1949): 甘藷栽培に於ける畦の問題, 農業気象, **5** (2), 63-65.
- 48) 三宅行美・青島 賦 (1977): 農業気象観測・測定に関する手引き書第1部, 測記の種類および観測・測定法, 日本農業気象学会関東支部, 1-17.
- 49) 村上律雄 (1969): 敷藁の熱収支効果, 農業気象, **25** (2), 93-99.
- 50) 村上律雄 (1969): 敷藁の効果に関する農業気象学的研究, 研究時報, **21**, 639-685.
- 51) 中原孫吉 (1972): 畦面被覆による地象環境の調節, 農業および園芸, **47** (9), 1233-1238.
- 52) 中川行夫 (1977): 農業気象観測・測定に関する手引き書第1部. 測器の種類および測定法, 日本農業気象学会関東支部, 30-36.
- 53) 中沢秋雄 (1968): 関東地方における陸稲マルチ栽培, 農業技術, **23** (4), 156-159.
- 54) 中山敬一・管原軍二 (1967): ビニールマルチに関する研究 (I) マルチ効果におよぼす被覆率の影響について, 農電研究所報告, **67016**, 1-12.
- 55) ———・管原軍二 (1968): ビニールマルチに関する研究 (II) マルチ効果と植被の関係について, 農電研究所報告, **68025**, 1-12.
- 56) 西川広栄 (1968): 東北地域における水稻の畑マルチ栽培, 農業技術, **23**, 160-163.
- 57) 西内 光 (1948): 甘藷塊根肥大に関する研究, 日作紀, **16** (2・3), 17-19.
- 58) 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, 日作紀, **38**, 163-167.
- 59) 小倉祐幸: 被覆栽培の環境調節, 農林統計協会, 9-12.
- 60) 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉澤 正 (1974): 多変量解析法, 日科技連出版, 1-430.
- 61) 岡田 淳 (1960): 蔬菜園芸におけるプラスチックマルチングの理論と実際, 農及園, **35** (4), 56-60.
- 62) 大久保隆弘 (1979): 太陽エネルギーとマルチ栽培, 農業および園芸, **54**, 169-173.
- 63) OSAFO, D. M. and G. M. MILBOURN (1975): The growth of maize III The effect of data of sowing and bitumen mulch on dry-matter yields. *J. Agric. Sci., Camb.*, **85**, 271-279.
- 64) Sand Dune Reseach Institute of Tottori University (1983): Meteorological Data, 32, Bull. Sand Dune Res. Ins., *Tottori Univ.*, **24**, 67-69.
- 65) 清野 裕 (1984): 耕地環境の制御, 農業気象編, 農林水産技術会議事務局編, 農林統計協会, 156-161.

- 66) 鈴木晴雄・上原勝樹・宮川秀夫 (1977): 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.
- 67) ———— (1977): 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**, 57-62.
- 68) ————・桜井英二・宮本硬一 (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, 農業気象, **35**, 243-248.
- 69) ————・宮本硬一・松尾直幸 (1982): 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅴ大豆の植生と黒色有孔ポリエチレンフィルムが地温に及ぼす影響, 農業気象, **38**, 135-144.
- 70) ————・広吉功行・宮本硬一 (1982): 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅵ甘藷の植被と黒色ポリエチレンフィルムが地温に及ぼす影響, 香大農学報, **34**, 13-21.
- 71) ———— (1982): 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅶトンネル栽培における植被と黒色ポリエチレンフィルムが地温に及ぼす影響, 香大農学報, **34**, 23-33.
- 72) ————・橋本利之・宮本硬一 (1983): 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅷハウス栽培における植被と黒色ポリエチレンフィルムが地温に及ぼす影響, 香大農学報, **34**, 129-138.
- 73) ————・宮本硬一 (1984): 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅸフィルムマルチにおける植穴の有無が地温に及ぼす影響, 香大農学報, **36**, 1-12.
- 74) ———— (1980): マルチ植穴の有無が地温におよぼす影響, 日本農業気象学会中国四国支部昭和55年度大会講演要旨集, 5-6
- 75) ————・伊藤純一・宮本硬一 (1981): ポット外壁面における放射状態と土壤の熱交換量, 農業気象, **37**(2), 81-90.
- 76) ————・神近牧男・松田照美・宮本硬一 (1985): 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**(3), 207-216.
- 77) ————・石川久人: 未発表.
- 78) 朱 栄 (1985): 中国におけるフィルムマルチ栽培(1), 農業技術, **40**(2), 53-57.
- 79) 高松地方気象台編集 (1979): 香川県気象月報, 昭和54年5月-8月.
- 80) 高松地方気象台編集 (1981): 香川県気象月報, 昭和56年1月-4月.
- 81) 竹島・ニ (1952): 温度較差と大豆の結実との関係, 日作紀, **21**(2), 119-120.
- 82) 田辺賢二・松田昭美・佐藤一郎 (1973): 蔬菜類の栽培におけるポリマルチの利用に関する基礎的研究(第2報) 植生条件下における地温効果, 鳥大農研報, **25**, 147-154.
- 83) 戸刈義次 (1950): 甘藷塊根肥大に関する研究, 農林省農事試験場報告, **68**, 41-412.
- 84) ———— (1983): マルチ栽培の反省, 農業技術, **38**(5), 227.
- 85) 鳥取地方気象台編集 (1983): 鳥取県気象月報, 昭和58年5月-8月.
- 86) 上原勝樹 (1958): 大型水面自記蒸発計の試作について, 農業気象, **14**, 19-21.
- 87) ———— (1961): 傾斜地開発利用に関する物理気象的研究, 香川大学農学部紀要, **7**, 1-113.
- 88) ————・松田松二・鈴木晴雄 (1976): 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅰ Albedo の著しく異なった資材を用いた場合(その1), 香大農学報, **27**, 21-32.
- 89) ————・宮川秀夫・———— (1976): 畦面被覆の微気象に関する研究Ⅰ Albedo の著しく異なった資材を用いた場合(その2), 香大農学報, **27**, 33-41.
- 90) ————・宮川秀夫・———— (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1), 香大農学報, **27**, 43-52.
- 91) ————・———— (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**, 53-62.
- 92) 植木邦和・井川正美 (1958): 大豆の生育に及ぼす高夜温の影響, 香大農学報, **9**(3), 111-113.
- 93) UNGER, P. W. (1978): Straw mulch effects on soil temperatures and sorghum germination and growth. *Agron J.*, **70**, 858-864.
- 94) 内嶋善兵衛 (1977): 耕地の熱収支, 新編農業気象ハンドブック, 新編農業気象ハンドブック編集委員会, 養賢堂, 142-148.
- 95) VARADAN, K. M. and A. S. RAO (1983): Effect of mulch on soil temperature in humid tropical latosols under coconut (*Cocos nucifera* Linn) and banana (*Musa paradisiaca*). *Agr. Meteorol.*, **28**, 375-386.
- 96) WAGGONER, P. E., MILLER, P. M. and ROO, H. C. De. (1960): Plastic mulching principles and benefits. *Bull.*

Conn. Agr. Exp. Station, **634**, 1-44.

- 97) 若松大朔 (1973) : ハウス促成イチゴに対するフィルムマルチの効果, 全農技術センター47年度研究報告, 159-182.
- 98) WILLIS, W. O. (1962) : Effect of partial surface covers on evaporation from soil, *Soil Sci. Soc. Proc.*, **26**, 598-601.
- 99) 八鍬利助 (1930) : 土壌表面の色と地中温度, 農業及び園芸, **10** (11), 2511-2518.
- 100) 山田宣良・古谷 隆 (1982) : 圃場における団粒形成因子—土壌の団粒に関する研究 (IV)—, 農業土木学会論文集, **98**, 1-6.
- 101) 横田廉一・堀口郁夫 (1965) : マルチと地温特性について (予報) 日本農業気象学会北海道支部会誌, **16**, 12-14.

Agrometeorological Studies on the Effect on Soil Temperature, of Film Mulching and Canopy in the Upland Mulching Culture

Haruo SUZUKI

Summary

The studies on the effect of mulching on soil temperature has dealt, for the most part, with either the temperature effect of mulching materials in the absence of canopy, or the case study discussion of merits and demerits of the mulching materials used in the culture experiments. There is no clear distinction in these studies between self-mulching effect of the canopy itself and the effect of the mulching materials used independently. Further, though the effect of mulching varies widely with the meteorological variation during culture period from initial stage of the crop growth to its harvest, the effect varying to the stage of growth have not been investigated quantitatively.

This study was undertaken aiming at establishing the basis for systematization of rational mulching culture by clarifying yet unsolved problems regarding mulching culture.

Part I of this study deals with the effect of soil temperature variation caused when mulching culture was conducted using typical mulching materials ; Part II deals with soil temperature effect of the mulching materials used in Part I and also with relation between soil temperature and mulch-covering method (mulching time). This part also gives a comparison of the effect between mulching films with and without planting holes ; Part III deals with canopy also and clarifies the effect of mulching and canopy on soil temperatures ; Part IV describes the mulching effects when mulching was applied in a greenhouse and a tunnel ; Part V describes the effect of mulching applied to a sand dune area which has soil different in nature from that of ordinary upland fields. The results obtained are as follows :

1. Cultivation with mulching : The effect of soil temperature difference caused by three types of mulching materials (black vinyl film, aluminum foil and heat insulating plate) and by varying duration of covering with heat insulating plate applied in the night-time, on the growth of soybean and sweet potato were investigated. The results showed that the soil temperature variation caused by any of these mulching materials were effective in increasing the yields of both crops. Specifically, in soybean culture, heat insulating plate plot gave the heaviest seed weight (about 30% heavier than in non-mulch plot), and, in sweet potato culture, black vinyl film plot yielded the heaviest tuberous root weight (3.7 times that in non-mulch plot).

2. Effects of film mulching on soil temperature : (i) Using black vinyl film and aluminum foil as mulching materials the effect of albedo difference was investigated. The results showed that the black vinyl film plot gave a significant increase in daytime net radiation and sensible heat flux in comparison with those in non-mulch plot, and it also gave higher surface air temperature and soil temperatures which varied widely, but that the aluminum foil plot gave a trend contrary to these. (ii) When heat insulating plate was used and mulching time was limited to the nighttime, the ratio of soil heat flux to net radiation (21%) was greater than that in non-mulch plot (13%) and soil temperature increase was also significant. (iii) The effect of covering with mulching films with and without planting holes were compared when black polyethylene films was used as mulching materials. The result was that the difference in terms of heat balance between hole-mulch and non-hole-mulch plots was only slight regarding each balance item. As for the influence of the general meteorological

elements on the soil temperature, soil moisture influenced a great deal in both plots. Other than the soil moisture, however, rainfall in hole-mulch plot (minimum soil temperature), and wind velocity in non-hole-mulch plot (minimum soil temperature, ratio of daily range) also had a marked influence.

3. Effects of film mulching and canopy on soil temperature :

a. A black polyethylene film as mulching material, and a cheesecloth as imitation canopy material were used. The results obtained were as follows : (i) The characteristic phenomenon observed when black polyethylene mulching had been applied was an increase in both diurnal and daily amounts of net radiation and, in addition, an increase in the ratio of the heat consumed in the form of sensible heat flux ; (ii) The effect of mulching applied in the absence of a canopy was observed in that in the daytime, there was a proportional relation between solar radiation and soil temperature increase which could be approximately expressed by a linear equation, and in the nighttime a certain degree of heat insulation effect was recognized ; (iii) The effect of an imitation canopy on soil temperature was slightly different depending on whether mulching was applied or not. In the daytime the soil temperature was lowered to a smaller degree in mulch rows than in non-mulch rows when it became cold, and the heat insulation effect of the canopy in the nighttime was obtained only when the temperature was lower than in non-mulch rows ; (iv) When examining combined effects of the imitation canopy and mulching, the effect on the maximum temperature in the daytime was somewhat different from that of the exclusive application of mulching or canopy. The soil temperature decrease effected by lowered solar radiation was offset by the soil temperature increase brought about by mulching in the plots of 23-56% solar radiation transmittance. In 6-12% plots, however, soil temperature decrease was greater with increasing soil temperature in the control non-mulch plot and the effect of lowered solar radiation was extremely reduced when soil temperature in the non-mulch plot was below 12°C.

b. When soybean was mulch-cultured the following results were obtained : (i) As regards heat balance in the presence of a canopy, the ratio of soil heat flux, latent and sensible heat flux to net radiation showed a tendency to become constant regardless of whether mulching was applied or not when the canopy grew thick ; (ii) when the influence of soybean canopy in the absence of mulching was examined in relation to the solar radiation transmittance (23%) over the row surface, the decrease of soil temperature against that non-mulch plot was greater in mulch plots than in non-plots (1.7°C at the maximum soil temperature). Under the combined influence of mulching and canopy mulching had a sort of buffer action against the maximum soil temperatures and reduced temperature variation. Also, at minimum temperatures, capacity of heat insulation was found to be greater than in the presence of canopy alone.

c. There were several differences between the effect of an imitation canopy and that of a soybean canopy, on the soil temperature. All these differences were assumed to be due to the difference in moisture content between the soils under the two canopies. The influences of the two canopies on soil temperatures were, as a general tendency, the same.

4. Mulching in covered facilities : Comparison was made between the effect in a tunnel, of mulching without applying canopy and that in an open field, in terms of the maximum soil temperature (5cm depth). In the open field a soil temperature difference between the mulch and non-mulch plots was given at solar radiation of about $140 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ while, in the tunnel, the difference was given at as small an amount of solar radiation as about $80 \text{ cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$.

The nighttime heat insulation effect of an imitation canopy was larger in the tunnel than in the open field and the effect was more significant when mulching was applied in addition to the canopy. Though the soil temperature showed no difference in behavior between a greenhouse and the tunnel, the effect differed between the both. It was assumed that there were three reasons for this : capacity of covering, ventilation and soil moisture condition.

5. Soil texture difference and mulching : The effect on soil temperatures, of mulching in a sand dune area by the use of black and transparent polyethylene films was examined. (i) The tendency of heat balance in each of the two film plots did not differ a great deal from that in ordinary upland fields ; (ii) When a black polyethylene film was used the daytime soil temperature (maximum temperature) was lowered to a great degree both by planting holes and by a canopy. With a transparent polyethylene film, on the other hand, a canopy markedly lowered the soil temperature while the temperature effect of planting holes was small. In the nighttime (minimum soil temperature), a heat insulation effect was observed when a black polyethylene film was used, regardless of whether planting holes and a canopy were present or not, and the effect was more marked when the soil temperature high, the tendency being the reverse to that in ordinary upland fields. Though the heat insulation effect was observed also with a transparent polyethylene film, the effect was sharply decreased when a canopy, but not planting holes, was present ; (iii) The effect on soil temperature was examined in terms of the most frequent appearance of the soil temperature parameters (maximum, minimum and average temperatures and range) in 3 plots (black polyethylene film mulch, transparent polyethylene film mulch and non-mulch plots). The results showed that they amounted to 20.8–72.7% and were lower than in ordinary upland fields indicating relatively low stability of the effect of mulching on soil temperatures on sand dune areas.

It was concluded from the results described above that the interrelation between the presence of a canopy and meteorological conditions is important for soil temperatures both in clear fields and in covered facilities when mulching was applied, and that concerning meteorological conditions, restriction of solar radiation and regulation of soil moisture is important in regulating soil temperatures in the rhizosphere of crops because of the especially great influence of the soil moisture.

香川大学農学部紀要

- 第1号 幡 克 美：アカマツ材の成分並びにパルプ化に関する研究 (1955年3月)
- 第2号 内 藤 中 人：植物成長ホルモンに関する植物病理学的研究 特に植物病原菌に及ぼす影響について (1957年10月)
- 第3号 松 沢 寛：アオムシコマユバチの生態に関する研究 (1958年3月)
- 第4号 梶 明：和紙原料の醱酵精練に関する研究 (1959年3月)
- 第5号 森 和 男：傾斜地蜜柑園経営の構造分析 (1960年3月)
- 第6号 玉 置 鷹 彦：ガラク並びに池泥の研究 (1960年3月)
- 第7号 上 原 勝 樹：傾斜地開発利用に関する物理気象的研究 (1961年3月)
- 第8号 桑 田 晃：オクラとトロロアオイとの種間交雑およびそれらより育成された種々の雑種ならびに倍数体に関する研究 (1961年9月)
- 第9号 中 潤三郎：甘藷の生育過程に関する作物生理学的研究 (1962年3月)
- 第10号 斉 藤 実：香川県及び北愛媛県の地質について (1962年3月) (英文)
- 第11号 小 杉 清：グラジオラスの生産と開花に関する研究 (1962年9月) (英文)
- 第12号 吉 良 八 郎：貯水池の滞砂に関する水理学的研究 (1963年2月)
- 第13号 野 田 愛 三：禾穀類の根鞘に関する研究 (1963年3月)
- 第14号 川 村 信一郎：豆類のデンプンの研究 (1963年3月) (エスペラント文)
- 第15号 浅 野 二 郎：種子の耐塩性を中心とした海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツ林の成立に関する研究 (1963年3月)
- 第16号 山 中 啓：乳酸菌のペントース・イソメラーゼに関する研究 (1964年8月) (英文)
- 第17号 葦 沢 正 義：香川県における葡萄の早害に関する研究 (1964年3月)
- 第18号 谷 利 一：カキ炭疽病の病態生理学的研究, とくに罹病果実の病徴発現にあずかるペクチン質分解酵素の役割 (1965年3月)
- 第19号 樽 谷 隆 之：カキ果実の貯蔵に関する研究 (1965年3月)
- 第20号 狩 野 邦 雄：ラン種子の発芽培地に関する研究 (1965年3月) (英文)
- 第21号 山 本 喜 良：コモンベッチおよびその近縁種の雑種に関する研究 (1965年3月)
- 第22号 中 広 義 雄：鶏における飼料の消化率測定法に関する研究 (1966年10月)
- 第23号 井 上 宏：ナツダイダイの果実発育に関する研究, とくに水腐病の発生機構を中心として (1967年3月)
- 第24号 宮 辺 豊 紀：異常乳の生成と塩類均衡とくにカゼイン燐酸カルシウムに関する研究 (1967年8月) (英文)
- 第25号 十 河 村 男：樹皮リグニン及び樹皮フェノール類に関する研究 (1971年9月)
- 第26号 大 島 光 昭：赤クローバーサイレージ中の窒素栄養源に関する研究 (1971年11月) (英文)
- 第27号 辰 巳 修 三：林木葉部中におけるカルシウムの化合形態とその生理に関する基礎的研究 (1974年11月)
- 第28号 樽 谷 勝：ブドウの葉脈黄変による早期落葉の研究 (1974年12月)
- 第29号 倉 田 久 男：カボチャ・スイカの性の分化におよぼす日長および温度の影響に関する研究 (1976年3月)
- 第30号 鎌 田 萬：中小河川治水計画に適用する計画降雨の合理的算定法に関する研究 (1976年6月)
- 第31号 山 本 弘 幸：エンバク冠さび病の抵抗性発現機構に関する研究 (1978年3月)
- 第32号 岡 本 秀 俊：テントウムシの摂食の生態に関する実験的研究 (1978年3月)
- 第33号 山 崎 徹：*カ*-ヒドロキシフェニル並びにシリングリゲニンに関する研究 (1978年9月) (英文)
- 第34号 市 川 俊 英：イネを加害する4種の同翅亜目顎吻群昆虫の配偶行動に関する研究 (1979年2月) (英文)
- 第35号 吉 田 博：農業生産共同組織の展開・構造・運営に関する研究 (1980年3月)

- 第36号 一色 泰：鶏盲腸の栄養生理学的研究（1980年3月）
- 第37号 中條 利明：富有カキ果実の発育ならびに品質に及ぼす温度条件に関する研究
（1982年2月）
- 第38号 五井 正憲：温帯花木の花芽形成ならびに開花調節に関する研究（1982年2月）
- 第39号 松井 年行：和三盆糖の食品学的研究（1982年2月）
- 第40号 藤目 幸擴：ハナヤサイ類の花らい形成並びに発育の温度条件に関する研究
—特に異常花らいについて—（1983年2月）
- 第41号 西山 壮一：カンガイ用管水路における空気混入流の水撃作用に関する研究（1983年2月）
- 第42号 真山 滋志：エンバク冠さび病の抵抗性発現におけるアベナルミンの役割（1983年10月）
（英文）
- 第43号 門谷 茂：海洋堆積物中のアミノ酸の初期統成過程に関する研究（1983年10月）
- 第44号 一井 真比古：水稻育種における再生茎形質の選抜指標としての効用に関する研究（1984年11月）
（英文）
- 第45号 片岡 郁雄：ブドウ果実の着色に関する研究
—とくにアブシジン酸による着色の制御について—（1986年10月）
- 第46号 鈴木 晴雄：畑地栽培におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響に関する農業気象
学的研究（1986年10月）
- 第47号 蓑輪 雅好：開放型畜舎内の放射熱環境に関する研究（1986年10月）
- 第48号 藤田 政之：サツマイモ塊根組織のチトクロム P-450 系酵素に関する研究（1986年10月）

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

- No. 1 Katsumi HATA: Studies on the Constituents and Pulping of "Akamastu" (*Pinus densiflora* SIEB et ZUCC) Wood (March, 1955)
- No. 2 Nakato NAITO: Phytopathological Studies Concerning Phytohormones with Special Reference to Their Effect on Phytopathogenic Fungi (October, 1957)
- No. 3 Hiroshi MATSUZAWA: Ecological Studies on the Branconid Wasp, *Apanteles glomeratus* (March, 1958)
- No. 4 Akira KAJI: Studies on the Retting of Plant Fiber Materials for Japanese Paper Manufacture (March, 1959)
- No. 5 Kazuo MORI: An Analytical Study on the Structure of the Mandarin Orange Growing Orchard Farm in a Sloping Land Region (March, 1960)
- No. 6 Takahiko TAMAKI: Studies of Garaku Paddy Soil and Reservoir Deposits (March, 1960)
- No. 7 Masaki UEHARA: Physical and Meteorological Studies on the Cultivation and Utilization of Slope Land (March, 1961)
- No. 8 Hikaru KUWADA: Studies on the Interspecific Crossing between *Abelmoschus esculentus* MOENGH and *A. Manihot* MEDIC and the Various Hybrids and Polyploids Derived from the Above Two Species (September, 1961)
- No. 9 Junzabro NAKA: Physiological Studies on the Growing Process of Sweet Potato Plants (March, 1962)
- No. 10 Minoru SAITO: The Geology of Kagawa and Northern Ehime Prefectures, Shikoku, Japan (March, 1962) (in English)
- No. 11 Kiyoshi KOSUGI: Studies on Production and Flowering in *Gladiolus* (September 1962) (in English)
- No. 12 Hachiro KIRA: Hydraulic Studies on the Sedimentation in Reservoirs (February, 1963)
- No. 13 Aizo NODA: Studies on the Coleorhiza of Cereals (March, 1963)
- No. 14 Sin'itiro KAWAMURA: Studoj pri Ameloj de Legumenoj (March, 1963) (in Esperanto)
- No. 15 Jiro ASANO: A Study on the Formation of Pine Forests on Seaside Areas, giving due Consideration to the Salt Resistance of the Seeds (March, 1963)
- No. 16 Kei YAMANAKA: Studies on the Pentose Isomerases of Lactic Acid Bacteria (August, 1963) (in English)
- No. 17 Masayoshi ASHIZAWA: Studies on the Drought Damage of Grape Trees in the Region of Kagawa Prefecture (March, 1964)
- No. 18 Toshikazu TANI: Studies on the Phytopathological Physiology of Kaki Anthracnose, with Special Reference to the Role of Pectic Enzymes in the Symptom Development on Kaki Fruit (March, 1965)
- No. 19 Takayuki TARUTANI: Studies on the Storage of Persimmon Fruits (March, 1965)
- No. 20 Kunio KANO: Studies on the Media for Orchid Seed Germination (March, 1965) (in English)
- No. 21 Kiyoshi YAMAMOTO: Studies on the Hybrids among the *Vicia sativa* L. and its Related Species (March, 1966)
- No. 22 Yoshio NAKAHIRO: Studies on the Method of Measuring the Digestibility of Poultry Feed (October, 1966)
- No. 23 Hiroshi INOUE: Studies on the Fruit Development of Natsudaikai (*Citrus Natsudaikai* HAYATA), with Special Reference to Water Spot Injury (March, 1967)
- No. 24 Toyoki MIYABE: Studies on the Production and the Salt Balance in Relation to Calcium Phosphocaseinate of Abnormal Milk (August, 1967) (in English)
- No. 25 Murao SOGO: Studies on the Bark Lignin and Bark phenolic Compounds (September, 1971)
- No. 26 Mitsuaki OHSHIMA: Studies on Nutritional Nitrogen from Red Clover Silage (November, 1971) (in English)
- No. 27 Shuzo TATSUMI: Fundamental Studies of the Chemical Forms of Calcium and Their Metabolisms in the Tree Leaves (November, 1974)
- No. 28 Masaru KURATANI: Studies on the Early Summer Defoliation of Grape Vines Caused by Veinyellowing (December, 1974)
- No. 29 Hisao KURATA: Studies on the Sex Expression of Flowers induced by Day-length and Temperature in Pumpkin and Watermelon (March, 1976)
- No. 30 Takashi KAMADA: Studies on the Rational Estimation of Rainfall for Design Flood (June, 1976)
- No. 31 Hiroyuki YAMAMOTO: Study on the Mechanism of Resistance Expression in the Crown Rust Disease of Oat (March, 1978)
- No. 32 Hidetoshi OKAMOTO: Laboratory Studies on the Food Ecology of Aphidophagous Lady Beetles (Coleoptera: Coccinellidae) (March, 1978)

- No. 33 Toru YAMASAKI: Studies on *p*-Hydroxyphenyl- and Syringyl Lignins (September, 1978) (in English)
- No. 34 Toshihide ICHIKAWA: Studies on the Mating Behavior of the Four Species of Auchenorrhynchous Homoptera which Attack the Rice Plant (February, 1979) (in English)
- No. 35 Hiroshi YOSHIDA: A Study of the Development, Structure and Management of Co-operative Groups (March, 1980)
- No. 36 Yutaka ISSHIKI: Nutritional and Physiological Studies on the Function of Ceca in Chickens (March, 1980)
- No. 37 Toshiaki CHUJO: Studies on the Effects of Thermal Conditions on the Growth and Quality of Fruits of Fuyu Kaki (February, 1982)
- No. 38 Masanori GOI: Studies on the Flower Formation and Forcing of Some Ornamental Trees and Shrubs in East Asia (February, 1982)
- No. 39 Toshiyuki MATSUI: Food Chemical Studies on Wasanbon-to Sugar (Japanese traditionally refined sugar) (February, 1982)
- No. 40 Yukihiro FUJIME: Studies on Thermal Conditions of Curd Formation and Development in Cauliflower and Broccoli, with Special Reference to Abnormal Curd Development (February, 1983)
- No. 41 Souichi NISHIYAMA: Studies on the Water Hammer of the Air-entrained Flow in Irrigation Pipe Lines (February, 1983)
- No. 42 Shigeyuki MAYAMA: The Role of Avenalumin in the Resistance of Oats to Crown Rust (October, 1983) (in English)
- No. 43 Shigeru MONTANI: Early Diagenesis of Amino Acids in Marine Sediments (October, 1983)
- No. 44 Masahiko ICHII: Studies on the Utility of Ratoon Traits of Rice as the Indicator of Agronomic Characters in Breebing (November, 1984) (in English)
- No. 45 Ikuo KATAOKA: Studies on the Coloration of Grape Berries with Special Reference to the Regulation of Color Development by Abscisic Acid (October, 1986)
- No. 46 Haruo SUZUKI: Agrometeorological Studies on the Effect on Soil Temperature, of Film Mulching and Canopy in the Upland Mulching Culture (October, 1986)
- No. 47 Masayoshi MINOWA: A Study on Thermal Radiation Environment in an Open-type Livestock Barn (October, 1986)
- No. 48 Masayuki FUJITA: Studies on Cytochrome P-450-Dependent Mixed Function Oxygenase in Sweet Potato Root Tissue (October, 1986)

昭和61年10月28日印刷 昭和61年10月31日発行

香川県木田郡三木町
香川大学農学部

印刷所 大学印刷株式会社
広島市中区十日市町二丁目1-15
電話 広島 231-4231 番(代)