敷きわらおよびフィルムマルチが無暖房ハウスの 夜間温湿度環境におよぼす影響

古在豊樹・菅 明子・奥矢 毅*・渡部一郎

(千葉大学園芸学部
*現在, 誠和化学株式会社)

Influence of Wheat Straw Mulch and Black Polyethylene
Film Mulch on the Temperature and the Humidity
during Night in the Unheated Plastic House

Toyoki KOZAI, Akiko KAN, Tsuyoshi OKUYA and Ichiro WATANABE

(Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba, 271)

1. ま え が き

近年, 園芸施設内の夜間における多湿環境の改善が, 病害防除や環境制御に関連して大きな問題となっている。現在までに考案, 実用化されている防湿法は, 目的, 方法ともに様々であるが, これらのなかでもビニルハウスの栽培農家が簡便かつ安価に実行できるものとして, 敷きわらとフィルムマルチがあげられる。

敷きわらが無暖房ハウス内の気温と相対湿度におよぼす影響については, 金磯ら(1981)によって報告されているが, 敷きわらが夜間の気温と相対湿度の低下をもたらす起因については, まだ十分に解明されているとはいえない。

そこで筆者らは, 諸元が同一である2棟の無暖房小型ビニルハウスを供試し, わらを床面に敷いた場合と, わらを空中に吊るした場合について, それぞれ対照区と比較して, 温湿度環境への影響について調べた。また, わらの吸水率, 吸湿率, およびハウス内の床面上に置いたわらの夜間増加質量を測定して, 敷きわらが気温と湿度への影響をもたらす起因について考察を加えた。

フィルムマルチについては, 岩切(1971)が屋外の気温および飽差と比較した報告があるが, ここでは対照区と比較して, 温湿度環境への影響について調べた。

2. 実験方法

2.1 ハウス内夜間温湿度環境

敷きわらの資材は麦わら, フィルムマルチの資材は厚さ0.02mmの黒色ポリエチレンフィルムとした。これら2種類のマルチがハウス内の夜間温湿度環境におよぼす影響を調べるために, 2棟の小型ビニルハウスを供試した。2棟の小型ビニルハウスの構造は同一であり, 作物(イチゴ)の品種, 栽植密度, および生育状態も同一とした。なお2棟の小型ビニルハウスの畝には, 実験期間を通じて厚さ0.02mmの黒色ポリエチレンフィルムでマルチをした。供試ハウスの諸元はTable 1に示した。これら2棟の小型ビニルハウスの夜間温湿度環境が等しく推移することは前実験によって確かめた。

本実験では, 裸地ハウス(unmulched house), フィルムマルチハウス(film mulch house), 敷きわらハウス(wheat straw mulched house), および裸地吊りわらハウス(suspended straw house)の4つの実験区を設定した。2棟の供試ハウスの諸元は同一であるので, 実験区の間で異なるのは, 畝を除く地表面, すなわち通路の被覆の有無と, 吊りわらの有無だけである。

裸地ハウスとは, 通路を裸地とした実験区をさす。供試ハウスの通路面積率は65%であったので, 裸地ハウスでは, 床面積の65%が裸地であった。フィルムマルチハウスとは, 通路に厚さ0.02mmの黒色ポリエチレンフィルムでマルチをした実験区をさす。この区では, 地表面はイチゴの株元を除き露出していなかった。敷きわらハ

Table 1. Description of the plastic greenhouses.

Item	Description
The number of the plastic greenhouses	2; The two plastic greenhouses were identical.
The interval between the two plastic greenhouses	1.6m
Each plastic greenhouse	Floor area: 52.6m ² , Width: 3.6m, Length: 14.6m Air volume: 80.9m ³ The percentage of aisles area: 65% Orientation: E-W Material of the covering: PVC film (0.10mm thick) Material of the thermal screen: Ethylenvinyl acetate twin-wall film (2mm thick) Location: Matsudo, Chiba, Japan.
Crop	Strawberry, cultivar Reiko and Hōkōwase. Transplanted on September 30, 1983. Harvested the whole plants on March 20, 1984. Planting density: 2.8plant/m ² The ridges were mulched with black polyethylene film (0.02mm thick) on October 30, 1983.

ウスとは、通路に麦わらを敷いた実験区をさす。麦わらの施用量は22kg、通路面積1m²当りに換算すると0.65kgであった。裸地吊りわらハウスとは通路が裸地であるハウスに、麦わらを約2kg ずつ寒冷紗(東海編織(株)ダイオネット1210)で包んだ包みをハウスの骨材から吊り吊げた実験区をさす。麦わらの施用量は、ハウス内の空間がほぼ一杯になる55kg、通路面積1m²あたりに換算すると1.62kgであった。

敷きわらがハウス内の夜間温湿度環境におよぼす影響を調べるため、敷きわらハウスと裸地ハウスの夜間温湿度環境を比較した。また吊りわらハウスと裸地ハウスの夜間温湿度環境を比較して、麦わらの施用形態による、ハウスの夜間温湿度環境の違いを調べた。さらにフィルムマルチがハウス内の夜間温湿度環境におよぼす影響を調べるため、フィルムマルチハウスと裸地ハウスの夜間温湿度環境を比較した。なお実験期間を通じて、一方のハウスを裸地ハウスとし、もう一方のハウスを順次、敷きわら、吊りわら、およびフィルムマルチハウスとした。以上3組の比較実験はそれぞれ一週間以上連続して行なった。

ハウス内の温湿度環境は、乾球・湿球温度をハウス内中央1.5mの高さで測定し、気温、絶対湿度、相対湿度、および飽差によってあらわした。乾球・湿球温度の測定には、自作した0.3mm径の銅-コンスタンタン熱電対を計測素子とする通風式乾湿球温度計を、アスマン通風式乾湿球温度計によって補正を行なって用いた。絶対湿度、相対湿度、および飽差は、測定した乾球・湿球温度から、

佐瀬(1982)が作成したパーソナルコンピュータ用プログラムを用いて計算した。

2.2 麦わらの夜間増加質量

ハウス内の裸地面上に置かれた麦わらが、夜間にどれだけの水分を吸収するかを調べるため、麦わらの夜間増加質量を測定した。試料は麦わらの茎を長さ5cmに切ったものとした。試料を入れる容器には直径5cm、長さ5cmの塩ビ管の底に、ポリエチレンフィルムを貼ったものと、ポリエチレンネット(宇部日東化成(株)サンラインNo.30)を貼ったものの、2種類を用いた。底にポリエチレンフィルムを貼った塩ビ管に入れた麦わらは、塩ビ管直上の空気のみ接するが、底にポリエチレンネットを貼った塩ビ管に入れた麦わらは、塩ビ管直上と地表面直上(塩ビ管直下)の両方の空気に接する。夕刻17時に、2種類の容器に入れた試料それぞれ3点ずつを供試ハウス内の裸地面

上に置き、このときの試料の質量 W_{d1} を夜間増加質量算定にさいしての基準とした。翌日7時に試料の質量 W_{m1} を測定し、(1)式によって麦わらの夜間における質量の増加を算定した。

$$(W_{m1} - W_{d1}) / W_{d1} \times 100 \quad (1)$$

2.3 麦わらの吸水率

試料は、麦わらの夜間増加質量の測定に供したものと同様に作成した。110℃下で24時間の乾燥を行なった後の質量を W_{d2} 、10℃の蒸留水にある時間浸水した後の質量を W_{m2} として、(2)式によって麦わらの吸水率(water absorption of wheat straw)を算定した。

$$(W_{m2} - W_{d2}) / W_{d2} \times 100 \quad (2)$$

2.4 麦わらの吸湿率

麦わらの吸湿率(moisture regain of wheat straw)は秤量びん法によって測定した。秤量びん法とは、試料を秤量びんに入れ、これを一定の温度と湿度に調節された試験槽に入れ、吸湿前後における質量変化を天秤によって測定する方法である。今回は、試験槽としてデシケータを用いた。試験槽内の気相の温度は、試験槽を恒温室に置くことによって一定に保ち、気相の相対湿度は、試験槽の下部に塩類飽和溶液を入れて一定に保った。塩類飽和溶液による調湿は、塩類の水溶液と平衡して共存する気体中の水蒸気分圧が、溶質の種類、濃度、および温度によって定まるという原理による(松下ら、1965)。調湿に用いた塩(えん)は、NaBr、NaCl、KCl、およびKNO₃であり、各塩の飽和溶液と共存して平衡状態にある10℃の空気の相対湿度は62%(才野、1958)、75%、

86%, および 95% (JIS Z 8806) である。試料は麦わらの夜間増加質量および吸水率の測定に供したものと同様に作成した。試料は試験槽内で吸湿させる前に, 110℃下で 24 時間の乾燥を行なった。乾燥後の試料の質量を W_{d3} , デシケーター内で 24 時間の吸湿を行なった後の試料の質量を W_{m3} とし, (3) 式によって麦わらの吸湿率を算定した,

$$(W_{m3} - W_{d3}) / W_{d3} \times 100 \quad (3)$$

3. 結果および考察

3.1 敷きわらがハウスの夜間温湿度環境におよぼす影響

a. 気温

裸地ハウスと敷きわらハウスの夜間の気温を比較した結果, 敷きわらハウスの気温は, 17時から翌日7時まで, 裸地ハウスに比べて平均 0.7℃低かった (Fig. 1)。他方, 裸地ハウスと裸地吊りわらハウスの夜間の気温を比較したところ, 差はほとんどなかった (Fig. 2)。Fig. 1, Fig. 2 とともに各比較実験期間における代表的な結果である。Fig. 2 における裸地吊りわらハウスの麦わら施用量は 55kg であった。この他, 麦わら施用量を 20kg, 30kg, および 40kg とした場合について, 裸地ハウスとの比較を行なったが, 夜間の気温および湿度の差はほとんど認められなかった。

敷きわらハウスの夜間の気温が裸地ハウスに比べて低下したのは, 次の 2 点に起因すると考えられる。

- (1) 麦わらの層によって, 地表面への日射が遮断され, 昼間の下向き地表面熱流束が低下したため, 蓄熱量が低下し, その結果, 夜間の上向き地表面熱流束が低下した。
- (2) 麦わらの層によって, 昼夜におけるハウス内空気と地表面との対流熱伝達が抑制された。

b. 湿度

裸地ハウスと敷きわらハウスの夜間湿度環境を比較した結果, 敷きわらハウスの絶対湿度と相対湿度は, 裸地ハウスに比べて低い傾向で経過し, 飽差は裸地ハウスに比べて高い傾向で推移した (Fig. 1)。絶対湿度, 相対湿度, および飽差の差はそれぞれ 17時から翌日7時までの平均で, 0.0006kg/kg', 6%, および 0.42mmHg であった。他方, 裸地ハウスと裸地吊りわらハウスの夜間湿度環境を比較したところ, 絶対湿度はほぼ等しく, また相

Fig. 1. Nocturnal changes in air temperatures, absolute humidities (A.H.), relative humidities (R.H.), and vapor pressure deficits (S.D.) inside the unmulched house and the straw mulch house.

Fig. 2. Nocturnal changes in air temperatures, absolute humidities (A.H.), relative humidities (R.H.), and vapor pressure deficits (S.D.) inside the unmulched house and the suspended straw house.

対湿度は最大 4% の差がみられたものの, 夜間を通じての差はわずかであり, 飽差の差もわずかであった (Fig. 2)。吊りわらの吸湿量は時刻 17時から翌日7時の間で, 麦わら 1kg あたり 0.05kg であった。これら 2 つの実験から, 麦わらの施用形態によって, 夜間の湿度環境が異なることが確かめられた。

金磯ら (1981) は, 敷きわらによってハウスの夜間の相対湿度が, 敷きわらをしていないハウスに比べて低下するのは, わらの吸湿性によるものとしている。しかし前述したように, 裸地吊りわらハウスの相対湿度は, 吊り下げたわらが吸湿を行なっているにもかかわらず, 裸地ハウスの相対湿度とほぼ等しかった。したがって, 敷きわらによって絶対湿度および相対湿度が低下したのは,

わらの吸湿によるものではなく、わらが裸地面上に敷かれたことによって、地表面からハウス内空気への水蒸気の流れが抑制されたためと考えられる。

水蒸気の流れが抑制される機構は、麦わらの夜間増加質量、吸湿率、および吸水率の測定結果から次のように考察できる。ハウス内の地表面の温度はハウスの気温よりも高い(北村, 1967)ので、地表面付近の気温はハウス内中央の気温よりも高くなる。しかも地表面から地中の水分が蒸発してくるので、地表面直上の空気の絶対湿度はハウス中央付近のそれに比べて大きく、露点温度も高い。したがってこのような空気に接するわらには結露が起りやすいと考えられる。Table 2は麦わらの吸水率の測定結果である。これによると麦わらの吸水率は浸水後10分で77%にも達する。このことから結露した水はただちに吸水されると考えられる。

夜間、ハウス内の裸地面上に敷かれたわらに結露が生じ、吸水されていることは、麦わらの夜間増加質量の測定結果から説明できる。塩ビ管直上の空気のみ接していたわらの夜間増加質量は5%であったが、塩ビ管直上と地表面直上の両方の空気に接していたわらの夜間増加質量は14%であった。また夜間増加質量の測定を開始した17時のハウス内の相対湿度は78%であり、測定日の夜間の最高相対湿度は95%であった。Table 3は麦わらの吸湿率の測定結果であるが、これによると麦わらの吸湿率は相対湿度75%下で15.2%、95%下で21.0%である。仮に相対湿度75%の空気中にあった麦わらを95%の空気中に移したとすると、75%下での質量を基準として、以下の計算によって、5%の吸湿による質量増加があることがわかる。

乾燥質量を W_0 、75%下での質量を W_{75} 、95%下での質量を W_{95} とする。吸湿率を求める式(3)より、

Table 2. Water absorption of wheat straw at 10°C.

Hours from the beginning of submergence (hr)	Water absorption (%)
1/6	77
1	122
3	149
5	174

Table 3. Moisture regain of wheat straw at 10°C.

Relative humidity (%)	Moisture regain (%)
62	11.8
75	15.2
86	19.1
95	21.0

$$(W_{75} - W_0) / W_0 \times 100 = 15.2 \quad (4)$$

$$(W_{95} - W_0) / W_0 \times 100 = 21.0 \quad (5)$$

(4)式より

$$W_{75} = 0.152 W_0 + W_0 = 1.152 W_0 \quad (6)$$

(5)式より

$$W_{95} = 0.210 W_0 + W_0 = 1.210 W_0 \quad (7)$$

(6)と(7)式によって W_{95} を W_{75} であらわすと、

$$W_{95} = 1.210 W_0 = 1.210 \times (W_{75} / 1.152) = 1.05 W_{75} \quad (8)$$

W_{75} を基準として、 W_{95} の増加率を求めると、

$$(W_{95} - W_{75}) / W_{75} \times 100 = (1.05 W_{75} - W_{75}) / W_{75} \times 100 \approx 5 (\%) \quad (9)$$

となる。

上記の計算結果から、ハウス内の空気のみ接していた麦わらの夜間増加質量は、吸湿による増加質量であると説明できる。他方、14%の質量増加をしめた麦わらについては、吸湿できる水分量以上に水分を吸収しており、吸湿以外に吸水現象が起きたことがわかる。なお麦わらの夜間増加質量を測定したハウスの気温と、吸湿率を測定した場所の気温は異なるが、一般に相対湿度が一定ならば吸湿量に対する温度の影響は小さい(上村, 1965)ので、気温の差異は考慮しなかった。

すなわち、敷きわらによってハウスの夜間の絶対湿度、相対湿度が低下し、飽差が増大したのは、麦わらの吸湿によるものではなく、地表面から蒸発した水分が、麦わらに結露し、吸水されることによって、地表面からハウス内空気への水蒸気の流れが抑制されたことによると考えられる。

3.2 フィルムマルチがハウスの夜間温湿度環境におよぼす影響

a. 気 温

裸地ハウスとフィルムマルチハウスの夜間の気温を比較した結果、フィルムマルチハウスの気温は、測定日の17時から翌日7時にかけて、裸地ハウスに比べて、約2℃低かった(Fig. 3)。Fig. 3は比較実験期間中の代表的な結果である。

フィルムマルチによる夜間の気温低下は、次の3点に起因すると考えられる。

(1) 黒色ポリエチレンフィルムによって地表面への日射が遮断され、昼間の下向き地表面熱流束が低下したため、蓄熱量が低下し、夜間の上向き地表面熱流束が低下した。

(2) 黒色ポリエチレンフィルムによって、昼夜におけるハウス内空気と地表面との対流熱伝達が抑制された。

(3) 黒色ポリエチレンフィルムの下表面に付着した水滴が、黒色ポリエチレンフィルムの長波透過率を低下さ

Fig. 3. Nocturnal changes in air temperatures, absolute humidities (A.H.), relative humidities (R.H.), and vapor pressure deficits (S.D.) inside the unmulched house and the film mulch house.

せ、地表面からの放射伝熱を抑制した。

b. 湿度

裸地ハウスとフィルムマルチハウスの夜間湿度環境を比較した結果、フィルムマルチハウスの絶対湿度と相対湿度はともに、終夜裸地ハウスよりも低く、その差はそれぞれ平均で 0.0007 kg/kg 、7%であった (Fig. 3)。また飽差はフィルムマルチハウスが裸地ハウスよりも大きく、その差は 0.25 mmHg であった。このようにフィルムマルチハウスの絶対湿度と相対湿度が裸地ハウスに比べて低下し、飽差が大きくなったのは、黒色ポリエチレンフィルムによって、地表面からの水蒸気の蒸発が抑制されたためであるといえる。

4. む す び

敷きわらとフィルムマルチが無暖房ハウスの夜間温湿度環境におよぼす影響を調べた。

測定結果から、敷きわらとフィルムマルチはともに、気温、絶対湿度、および相対湿度を低下させ、飽差を増大させることがわかった。

気温の低下は、敷きわらまたは黒色ポリエチレンフィルムによって、地表面への日射が遮断されたため蓄熱量が低下し、またハウス内空気と地表面との対流熱伝達が抑制されたためであると考えられた。またフィルムマル

チの場合は、黒色ポリエチレンフィルムの下表面についた水滴によって長波透過率が低下し、地表面からの放射伝熱が抑制されたことも、気温低下の一因であったと考えられた。

絶対湿度と相対湿度の低下、および飽差の増大は、敷きわらまたは黒色ポリエチレンフィルムによって、地表面からハウス内空気への水蒸気の流れが抑制されたためであると考えられた。従来敷きわらによるハウス内空気の湿度の低下は、わらの吸湿によるものとされていた。しかしながら本実験によって、湿度低下に寄与する吸湿の割合は少なく、地表面から蒸発した水分がわらの表面で結露し、吸水されることによって水蒸気の流れが抑制されたためであることが確かめられた。

近年ここでとりあげたマルチの他にも、内張被覆資材などによる夜間多湿環境の改善がすすめられている。今後は、いまだに不明確な、これら資材の多湿環境の改善の指標となる物性を明らかにする必要がある。

引用文献

- 1) 岩切 敏, 1971: 栽培用ハウス内温度環境の予測と制御に関する研究, 国立防災科学技術センター研究報告, **6**, 1-139.
- 2) JIS Z 8806, 1965: 湿度測定法, 日本規格協会, p. 14.
- 3) 金磯泰雄・山本 勉, 1981: 稲わら施用がハウス内の環境ならびに病害の発生に及ぼす影響, 徳島農試研報, **19**, 21-30.
- 4) 北村一男, 1967: ビニールハウスの地温と気温について (夜間の場合), 農業気象, **23**, 2, 75-80.
- 5) 松下光祥・池田永良, 1965: 湿度・水分測定 (工業計測技術体系編集委員会編), 日刊工業新聞社, p. 141.
- 6) 才野武彦, 1958: 飽和水溶液の蒸気圧, 計測, **8**, 5, p. 281.
- 7) 佐瀬勘紀, 1982: 乾球・湿球温度から空氣の諸状態値を求めるプログラム, 施設型農業におけるマイコン利用, 日本農業気象学会施設園芸研究部会第4回研究集会, p. 43.
- 8) 上村 武, 1965: 湿度・水分測定 (工業計測技術体系編集委員会編), 日刊工業新聞社, p. 154.