

# オープンハウスの内張り展張に適した遮光資材の特性

森山友幸\*・林 三徳<sup>1)</sup>・井手 治<sup>2)</sup>

遮光率が約40%の遮光資材の中では、短波長域波長の光反射率が高く光吸収率が低い資材ほど資材温度は上がりにくい。遮光資材は間隙率と通気性の関係が深く、間隙率が大きいほど通気性が優れた。また、遮光資材で通気性の優劣を判断する場合、通気性と相関関係にある間隙率が指標になった。

遮光率が同等の資材を展張する場合、光吸収率が低く、間隙率が高い資材を用いるとオープンハウス内の昇温が抑制された。

天井面フィルムを開放するハウス内でホウレンソウを栽培する場合、ハウス内に短波長の光吸収率が低く、通気性に優れた遮光資材を展張すると無展張に比べて気温、地温が低く、栽培したホウレンソウの生育が優れた。

[キーワード：遮光資材、光吸収率、間隙率、ホウレンソウ]

Study on Characteristics of Shading Material Suitable for Lining for Greenhouse with Roof Open MORIYAMA Tomoyuki, Mitsunori HAYASHI and Osamu IDE (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikusino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull.Fukuoka Agric. Res. Cent.* 28:89-93(2009)

In the case of shading material of about 40% shading rate with a high short wave-length region reflectance and a low short wave-length region absorptance, the temperature of the shading material remained low. A shading material with high porosity proved superior in air transmissivity. In the choice of shading material, porosity serves as an index for preferred air transmissivity. When shading material with a low absorptance rate of the short wave-length region and a high porosity rate was used as lining for greenhouse with roof open, the inside temperature was properly controlled. When shading material with a high absorptance ratio of short wave length region and a high porosity ratio was used for lining a greenhouse with the roof films removed, both the ambient and soil temperatures inside the greenhouse remained lower than where such a device was not installed, and the growth of spinach in the greenhouse where we set the shading material was found to be good.

[Key word: shading material, absorptance, porosity, Spinach]

## 緒 言

夏季の施設野菜の生産を安定させるには、生育に悪影響を及ぼすハウス内の昇温抑制と被害が多発する害虫対策が重要な課題である。

昇温抑制対策では、ハウスの換気面積を広げて通気性を向上させ、ハウス内外の熱交換を促進させることが有効であり、ハウスの天井面や側面を広く開放できる各種ハウスが開発されている(佐瀬 2007, 田中・石氷 2003)。害虫対策では、食の安全に対する消費者の関心が高まる中、化学合成農薬の使用量削減を目的に防虫ネットを用いた総合防除技術が普及しているが、防虫ネットをハウスの天井面や側面に張ると通気性が低下し、ハウス内の昇温が助長される新たな問題が生じている(真木 1982, 村松 1995, 金子ら 1997, 羽生 2007, 福岡県農政部 2007)。このような状況の中、福岡県農業総合試験場では害虫対策と昇温抑制対策を同時に解決する技術として防虫ネットをハウス天井面と側面に展張し、天井面フィルムを開放できるハウス(以下、オープンハウス)(第1図)を開発した(林・月時 2001, 2002)。

ハウス内の昇温抑制対策としては、通気性の向上の他に遮光資材を用いてハウス内への日射の投入量を削

減する手段が有効である(羽生 2007)。遮光資材の被覆は、設営の容易さからハウス天井部のフィルムの上に遮光資材を張る方法(以下、外張り方式)がほとんどであるが、本方式は資材設置がハウスの外側で強固な固定が必要なため、資材の開閉が容易にできず、曇天日に投入日射量が低下することが問題である。資材展張のもう一つの方法は、ハウス内の上層部にアーチ式の骨材を設営し、遮光資材を内張り被覆する方法(以下、内張り方式)である。本方式は外風の影響がほとんどないため、遮光資材を固定する必要がなく日射量に応じた開閉管理が可能である。しかし、日射をうけると資材が高温になり資材からハウス内へ熱が放出することが問題である(羽生 2007)。この問題を解決できると思われるのが、遮光資材から放出される熱をハウス外へ効率的に放出できるオープンハウスであり、本県が開発したハウスは遮光資材の内張り方式を採用している。

遮光資材に関する報告は、遮光率が異なる数種類の資材を外張りしてチンゲンサイの栽培時期に適した資材を選定した大藪らの報告のように遮光率だけに着目した報告がほとんどである(大藪ら 1988)。近年、各種のハウスが開発されているオープンハウスで遮光資材を内張りする場合、遮光資材の通気性や資材温度がハウス内の温度環境に大きく影響すると思われるが、これらの内容を明らかにした知見はない。

そこで、オープンハウスによる夏季の施設野菜生産の安定化を目的として、遮光資材の通気性、温度変化を明らかにしてオープンハウスの内張りに適した資材

\*連絡責任者

(筑後分場：moriyama@farc.pref.fukuoka.jp)

- 1) 八女分場
- 2) 野菜栽培部



第1図 防虫ネットを組み込んだオープンハウス

を選定し、オープンハウスの内張り方式でハウレンソウを栽培した場合の生育を検討したので報告する。

## 試験方法

### 試験1：遮光資材の特性

#### (1) 反射, 吸収と資材温度

試験には、遮光率が約40%で色、編み方や遮光資材を構成する軟質フィルム、糸（以下、構成資材）の光透過性が異なる6種類の遮光資材を用いた。供試資材は、編み方がカラミ編みでフィルムが銀色の資材A、同じ編み方で黒色の資材Bと白色の資材C、フィルムにアルミが蒸着している資材Dの4資材と熱融着織物でフィルムが銀色の資材E、そして平織りで糸が黒色の資材Fを用いた（第1表）。2003年9月6日～10月10日の間、横4m、縦4m、高さ1.5mの箱型施設の天井面と側面に供試資材を展張し、施設中央の高さ20cm位置に全天日射計ML-020（英弘精機製）を設置して日射量を測定し、遮光率を算出した。

また、2003年8月4日～6日の12～14時の間、高さ1.5mの位置に横4m、縦4mの供試資材を展張し、資材の上の高さ2m位置と資材の下の高さ1m位置に長短波放射収支計CNR-1（Kipp & Zonen製）を設置して上向き方向と下向き方向の短波長域（測定波長範囲305～2800nm）エネルギー量を計測した。遮光資材の光反射率は高さ2m位置の上向き方向のエネルギー量を下向き方向のエネルギー量で除して算出し、透過率は高さ1m地点の下向き方向のエネルギー量を高さ2m位置の下向き方向のエネルギー量で除して算出した。光吸収率は100から透過率と光反射率を差し引いて算出した。資材温度は放射温度計HT-10D（MINOLTA社製）で測定した。

#### (2) 通気性と間隙率

供試資材は、試験1と同じものを用いた。通気性調査は、九州沖縄農研センターの風洞装置（縦90cm×横90cm）を用い、防風網の通気性評価で真木が行った手法に準じて実施した（真木1982）。風洞実験装置内に断面45cm×45cmで長さ90cmの木製の小風洞を設置して、その中央の風上45cm地点に縦45cm×横

45cmの資材を張って風速1m/s、4m/s、9m/sの通気処理を行った。風速は、風上側を風の取り入れ口地点、風下側を資材の風下25cm地点で計測した。

資材の間隙面積の割合（以下、間隙率）の算出は、黒色紙を背景に置いた遮光資材を実体顕微鏡で14倍に拡大し、デジタルカメラC-2040ZOOM（OLYMPUS製）でパソコンに入力させる。そして、その画像をPhotoshop Elements 2.0（adobe製）の資材色選択と二値化処理により資材と隙間を区別させて、それぞれのピクセル数（全ピクセル数1,920,000）をカウントして算出した。

### 試験2：遮光資材の種類が施設内の気温に及ぼす影響

試験には主風向が北西の圃場（面積36a）の中に試験1と同じ形状の箱型施設を、隣接施設に風の遮蔽が影響しないように施設間隔を10m空けて主風向と直角方向に4棟（側面は北東、南東、南西、北西に面する）設置し、2004年7月7日～7月20日の間、施設の天井面及び側面に資材C、資材D、資材Eおよび資材Fの計4資材を展張した。施設内の気温は、施設中央の高さ15cm、75cm、140cm位置をサーモレコーダーRTR-52（ティアンドデイ社）で15分間隔で測定した。

### 試験3：遮光資材を展張したハウスにおけるハウレンソウの生育

試験には、間口6m、長さ15m、棟高さ3.2mで天井面と側面に目合い0.4mmの防虫ネットを展張し、ハウス内の高さ2.5m位置にアーチ式の骨材を設営してその上に遮光資材を張ったパイプハウスを供試した。遮光資材は資材D、Eを用いた。試験では遮光資材を張った2ハウスと遮光資材を展張していない無処理ハウスの計3ハウスを用いた。

ハウスの側面フィルムは常時開放し、天井面フィルムは、降雨の日を除いて9時から17時までの間、両端から中央まで巻き上げて開放した。遮光資材は、晴天日には10～16時の間、曇天日でも一時的に晴天となりハウス内の気温が35℃以上の時間帯はハウス中央部にフィルムを巻き上げ、それ以外の時間はハウス上層部をフィルムで覆った。

供試ハウスにおいて、2004年6月16日にハウレンソウ品種「アクティブ」をは種し、7月22日に収穫した。晴天日7月18日にハウレンソウの展開葉（本葉6～8枚目の葉で水平に展開した1枚）の光合成速度を開放型携帯用光合成蒸散測定装置LI-6400（LI-COR社製）を用いて、測定時のチャンバー内環境を光強度1,200μmol/m<sup>2</sup>/v、空気流量500μmol/s、葉温32℃に設定して測定した。気温はハウス中央部の高さ15cm位置、地温は深さ5cm位置を測定した。

## 結果および考察

### 試験1：遮光資材の特性

#### (1) 反射, 吸収と資材温度

供試した遮光資材の遮光率は、資材Dが52.0%で最も高く、資材Bが50.8%、資材Cが48.7%、資材A

が46.2%、資材Eが44.0%で、資材Fが39.3%で最も低い値を示した。

各資材の短波長域波長反射率（以下、光反射率）は、構成資材にアルミが蒸着している資材Dが43.8%と最も高く、次に構成資材が白色の資材Cが39.3%と高かった。一方、構成資材が黒色の資材B、Fは7.5%、8.0%と顕著に低い値を示した。短波長域波長吸収率（以下、光吸収率）は、資材Dが6.8%と最も低く、資材Fが33.5%と最も高い値を示した。12時の資材温度は資材Dが38.2℃と最も低く、資材Fが52.7℃と最も高い値を示した（第1表）。

光吸収性の高い遮光資材は日中、光を吸収して資材温度が高くなり、資材下への熱放出が多くなるが、反射性の高い遮光資材は光吸収量が少ないため資材下への熱放出が少ない（岡田・小沢 1999）。晴天日の資材温度は、光反射率が高く光吸収率が低い資材C、Dが、光反射率が低く光吸収率が高い資材B、Fに比べて顕著に低かった。この資材温度の違いは、構成資材の光吸収性の違いが影響していると類推された。

今回の試験により、遮光率が約40%の遮光資材の中では、短波長域波長の光反射率が高く光吸収率が低い資材C、Dが資材温度が上がりにくいことが明らかになった。

(2) 通気性と間隙率

今回の研究では遮光資材の通気性に注目しており、風洞実験装置を用いて通気性を示す風下風速/風上風速比（以下、風下/風上風速比）を計測した。風下/風上風速比は、資材Fが70.4%で最も大きな値を示し、資材C、Eが低い値を示した。

各資材の間隙率は、資材Fが63.6%で最も大きな値を示し、資材Eが26.3%で最も低い値を示した（第2図）。

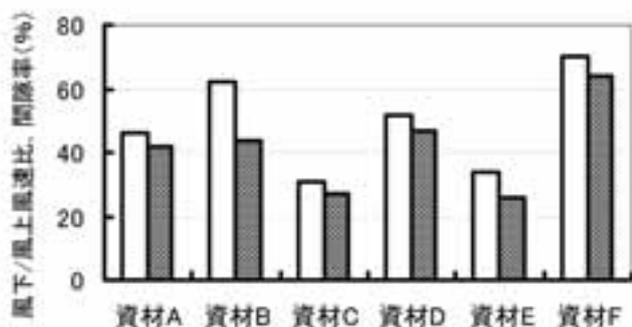
供試した資材は、構成資材の光透過性が異なり、資材A、B、D、Fは構成資材が光を透過しないが、資材C、Eは光を透過する。遮光率と間隙率との関係を見ると、構成資材が光を透過しない資材A、B、D、Fと構成資材が光を透過する資材C、Eの二つのグループに分けることができ、光を透過しない資材A、B、D、Fの間隙率は資材C、Eに比べて高い傾向を示した（第3図）。これは、遮光率がほぼ同等な場合、構成資材が光を透過しない資材では、ハウス天井部面積に対する構成資材の被覆面積割合が遮光率と同じ割合であるが、構成資材が光を透過する資材では、資材下への投入光量は構成資材の隙間を通過する光量と構成資材を透過する光量の合計になるため、構成資材の面積割合が遮光率より高くなり、その結果、間隙率は低くなるためと推察される。

第1表 供試した遮光資材<sup>1)</sup>の特徴

| 資材名 | 編み方   | 構成材の色  | 構成資材の光透過性 | 遮光              | 短波長域エネルギー量         |                    | 資材               |
|-----|-------|--------|-----------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|
|     |       |        |           | 率 <sup>2)</sup> | 光反射率 <sup>2)</sup> | 光吸収率 <sup>2)</sup> | 温度 <sup>2)</sup> |
|     |       |        |           | (%)             | (%)                | (%)                | (℃)              |
| 資材A | カラム編み | 銀      | 不透過       | 46.2            | 16.4               | 29.1               | 45.7             |
| 資材B | カラム編み | 黒      | 不透過       | 50.8            | 7.5                | 27.6               | 52.1             |
| 資材C | カラム編み | 白      | 透過        | 45.7            | 39.3               | 7.1                | 40.9             |
| 資材D | カラム編み | 銀      | 不透過       | 52.0            | 43.8               | 6.8                | 38.2             |
|     |       | (7%蒸着) |           |                 |                    |                    |                  |
| 資材E | 熱融着織物 | 銀      | 透過        | 44.0            | 25.3               | 17.9               | 43.9             |
| 資材F | 平織り   | 黒      | 不透過       | 39.3            | 8.0                | 33.5               | 52.7             |

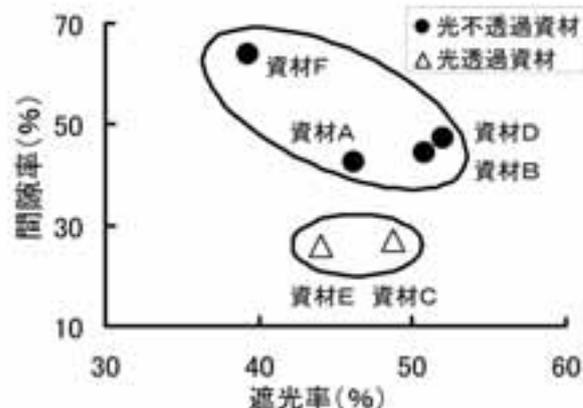
1) 遮光資材を構成する資材は、資材A、B、C、D、Eがポリエチレン、資材Fがビニロン。

2) 遮光率の測定は2003年9月6日～10月10日に実施、光反射率、光吸収率、資材温度の測定は2003年8月4日～6日（天候：晴天）に実施。



第2図 遮光資材の風下/風上風速比と間隙率

□ 風下/風上風速比 ■ 間隙率



第3図 光透過の異なる資材の遮光率と間隙率

また、遮光資材における間隙率と風下／風上風速比の関係を見ると、高い正の相関（相関係数0.94、一次回帰直線  $Y = 1.07X + 4.38$ ）を示した（第4図）。森山ら（2008）は目合い0.4mmの防虫ネットの間隙率と風下／風上風速比は正の相関関係を示し、間隙率が大きくなるほど風下／風上風速比が大きくなることを明らかにした。遮光資材は目合い0.4mm防虫ネットに比べてひとつの隙間面積は広いが、資材の隙間と風の透過との関係は同じと考えられる。

以上のことから、遮光資材において、間隙率と通気性の関係は深く、間隙率が大きいほど通気性が優れることが明らかになった。また、遮光資材で通気性の優劣を判断する場合、通気性と相関関係にある間隙率を指標にできることが示唆された。

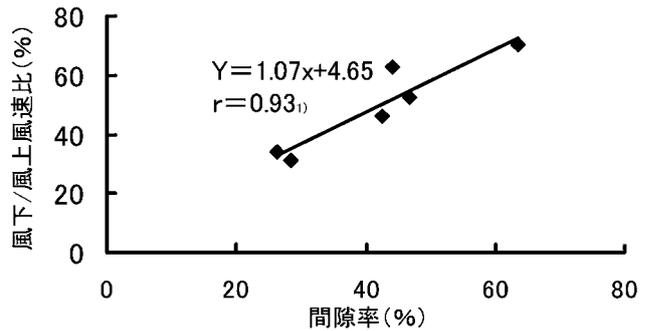
**試験2：遮光資材の種類が施設内の気温に及ぼす影響**

供試した箱型施設に、光吸収率、間隙率が低い遮光資材C（遮光率48.7%、光吸収率7.1%、間隙率28.3%、以下、①遮光率、②光吸収率、③間隙率の順に記述）、光吸収率は低いが間隙率が高い資材D（①52.0%、②6.8%、③46.8%）、光吸収率は中程度で間隙率が低い資材E（①44.0%、②17.9%、③26.3%）そして光吸収率、間隙率が高い資材F（①39.3%、②33.5%、③63.6%）を張り、高さ15cm、75cm、140cmの気温を計測した。晴天日7月18日の高さ140cmの10～14時の平均気温は間隙率が最も低い資材Eが最も高く、光吸収率が低く、間隙率が高い資材Dが最も低かった。高さ15cmの気温は遮光率が最も低い資材Fが高く、光吸収率が低く、間隙率が高い資材Dが最も低かった。光吸収率が低く、間隙率が高い資材Dは高さ15cm、75cm、140cmすべての気温が最も低かった。また、間隙率が40%を超える資材DとFの気温は9時から16時の間、高さ140cmの気温が高さ15cmの気温に比べて低い傾向を示し、間隙率が30%未満の資材CとEの高さ140cmの気温は高さ15cmの気温より高い時間が多かった（第5、6図、一部データ略）。

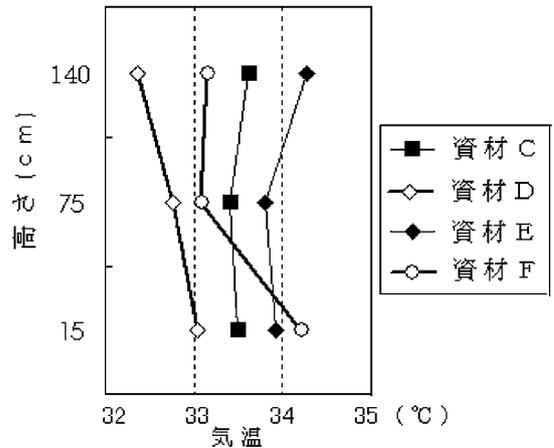
今回の結果から、間隙率が高く、通気性が優れる遮光資材を張ったハウスでは施設上層部に熱気が滞留せず、高温になりにくいことが明らかとなった。森山ら（2008）は目合い0.4mmの間隙率が高く、通気性に優れた防虫ネットを展開したハウスでは、施設上層部に熱気が滞留せず、高温になりにくいことを報告している。防虫ネットの通気性と熱の滞留によるハウス内の昇温との関係は、今回の遮光資材の通気性とハウス内温度との関係と同じと考えられる。

今回の試験で、間隙率63.6%の資材Fの高さ140cmの平均気温は、間隙率46.8%の資材Dより高かったが、これは資材Fを展開した施設は資材Fの遮光率が低いため投入された日射量が多く、加えて資材が黒色で資材からの熱の放出量が多かったためと考えられる。

以上より、遮光率が同等の資材を展開する場合、光吸収率が低く、間隙率が高い資材を用いるとハウス内の昇温が抑制されることが示唆された。

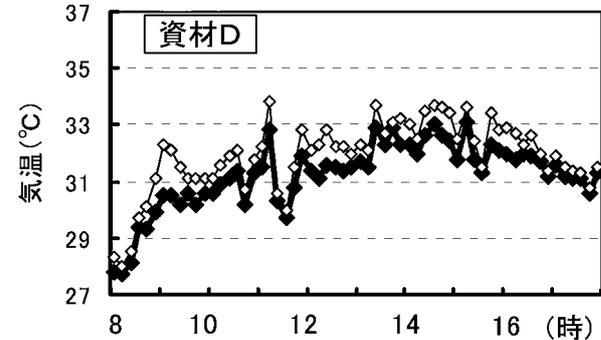
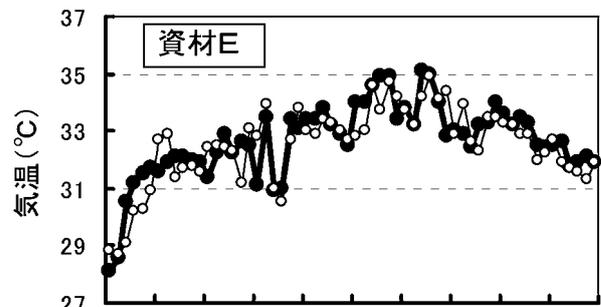


第4図 遮光資材の間隙率と風下／風上風速比  
1) 相関係数は5%水準で有意性あり(Pearsons test)。



第5図 遮光資材展張施設の高さ別気温<sup>1)</sup>

1) 値は2004年7月18日(気候:晴)、実験施設(横4m、長さ4m、高さ1.5m)内の10～14時の気温の平均値。



第6図 資材D、Eの高さ別気温<sup>1)</sup>

● 高さ140cm ○ 高さ15cm

1) 測定は、2004年7月18日8～18時の間、実施。

第2表 遮光資材を展張した施設<sup>3)</sup>におけるハウレンソウ<sup>1)</sup>の生育

| 資材名 | 気温 <sup>2)</sup> (°C) | 地温 <sup>2)</sup> (°C) | 1株重 (g)             | 草丈 (cm) | 光合成速度 <sup>5)</sup> ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) |
|-----|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------|---|
| 資材D | 33.3                  | 32.5                  | 34.0a <sup>6)</sup> | 26.5a   | 25.8a   |
| 資材E | 36.2                  | 34.0                  | 22.5b               | 21.5b   | 19.3b   |
| 無処理 | 37.3                  | 36.1                  | 11.0c               | 14.9c   | 15.4c   |
|     |                       |                       | *                   | *       | *   |

- 1) 供試品種：アクティブ，播種：2004年6月16日，収穫：7月12日。
- 2) 異なる英字字間には5%水準で有意差があり（Fisher's LSD）。
- 3) 施設の大きさ：横6m，長さ15m，高さ3.2m。
- 4) 気温は高さ15cm、地温は地下5cmの2004年7月18日（天候：晴天）12～14時と平均値。
- 5) 光合成速度は2004年7月18日に本葉6～8枚目の展開葉を測定。
- 6) ハウスの側面フィルムは常時開放、天井面フィルムは降雨を除き、9～17時に開放。

### 試験3：遮光資材を展張したハウスにおけるハウレンソウの生育

試験2で供試した資材のうち、遮光率が40%未満の資材Fを除き、すべての高さで最も気温が低かった資材Dと最も高かった資材Eをハウス内に内張りしてハウレンソウを栽培した。晴天日2004年7月14日の高さ15cmの気温は、資材D、Eを展張したハウスが無処理ハウスに比べてそれぞれ4.0、1.1℃低く、地温は無処理ハウスに比べて3.6、2.1℃低かった。

播種32日後の晴天日7月18日の展開葉の光合成速度は、資材を展張した方が無被覆に比べて高く、資材Dを使ったハウスのハウレンソウは資材Eのものより高い値を示した。播種36日後の1株重は無被覆が11.0gだったのに対して資材Dが34.0gと顕著に優れた（第2表）。香川（1974）はハウレンソウは冷涼な気候を好むこと、黒住ら（1988）は、遮光率34～56%の8資材をハウスの天井面フィルムの上に展張して気温、地温等の環境条件と夏どりハウレンソウの草丈、株重を調査した結果、気温、地温は遮光で上昇が抑制でき、気温、地温が低いハウスほど株重が増加したと報告している。今回の試験とは、遮光資材の展張方法や供試した資材の種類が異なるが、遮光資材の展張が気温、地温に及ぼす影響や気温、地温とハウレンソウの生育との関係は同様な結果を得た。

以上より、天井面フィルムを開放するハウス内でハウレンソウを栽培する場合、ハウス内に光吸収率が低く、通気性に優れた遮光資材を展張すると無展張に比べて気温、地温が低くなり、夏どりハウレンソウの生育が優れることが明らかになった。

現在、多くの種類の遮光資材が市販され、今後、昇温抑制効果の高い新資材の開発が予想されるが、選定にあたっては、対象作物、使用時期、被覆方法や地域の気象を考慮して、遮光率だけでなく光吸収率および通気性を十分考慮する必要がある。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご指導・ご協力頂いた九州大学大学院教授（現琉球大学）真木太一博士、九州大学大学院大部美歩氏および九州沖縄農研センター気象特性研究室の皆様は厚く感謝の意を表す。

なお、本研究は農林水産省「先端技術を活用した農

林水産高度化事業」により実施した。

## 引用文献

- 福岡県農政部（2007）野菜病害虫・雑草防除の手引き，福岡，pp53-54.
- 羽生広道（2007）施設内環境の制御技術．施設園芸ハンドブック，東京；日本施設園芸協会，pp105-115.
- 林 三徳，月時和隆（2001）防虫網を組み込んだフルオープンハウス内の温度と光環境．園学雑70，（別1），274.
- 林 三徳，月時和隆（2002）オープンハウスにおける遮熱とマルチ資材が夏採りハウレンソウの生育に及ぼす影響．園芸学会九州支部研究集録第10号，42.
- 香川 彰（1974）ハウレンソウ．農業技術体系（野菜編7），東京；農文協，pp.1-68.
- 金子 誠・近藤 篤・山本雅則・仙波俊男（1997）通気性被覆資材のトンネルがけによるアブラナ科野菜の省農薬栽培法．滋賀県農試研報36：23-30.
- 黒住 徹・大原正行・土井正彦・川島信彦（1988）遮光による昇温抑制効果を活用した夏まきハウレンソウ栽培．奈良農試研報19：31-37.
- 真木太一（1982）防風網に関する研究（4）風洞実験による種々の防風網付近の風速分布特性．農業気象38：123-133.
- 森山友幸・林 三徳・井手 治（2008）通気性に優れた防虫ネットの選定と選定指標．福岡農総試研報27：99-104.
- 村松 功（1995）軟弱野菜栽培における被覆資材の利用効果．農及園70：59-65.
- 岡田益己・小沢 聖（1999）べたがけを使いこなす．（改訂3版）東京；農文協，32p.
- 大藪哲也・鈴木智博・青柳光昭（1988）チンゲンサイの夏，秋まき栽培における遮光，べたがけ及びマルチ資材の利用効果．愛知農総試研報20：193-199.
- 佐瀬勘紀（2007）換気・気流制御．施設園芸ハンドブック，東京；日本施設園芸協会，pp182-195.
- 田中誠司・石氷泰夫（2003）スパイラル抗を用いた高軒高園芸施設の開発．農業施設17：274.