

通気性に優れた防虫ネットの選定と選定指標

森山友幸*・林三徳¹⁾・井手治²⁾

夏季高温期に天井部と側面部に防虫ネットを展張した施設では、露地の風速が小さい場合、施設の通気性（施設内外風速比：施設内風速÷露地風速×100）が小さくなり、施設の内と外の熱交換が抑制されて、施設内が露地に比べて高温となった。施設の通気性は、防虫ネットの目合いの大きさ、ネットの素材と関係が深かった。目合いの細かな防虫ネットを通気性の優劣で選定する場合、防虫ネットの隙間度合いを示し、デジタル画像から容易に測定できる間隙率が選定の指標になった。目合い0.4mmの防虫ネットでは、糸が顕著に細い資材Aは間隙率が最も高く、風洞実験施設における「風下風速/風上風速比」が最も優れた。天井部と側面部に目合い0.4mmの防虫ネットを展張した施設では、間隙率が高いポリプロピレン製の資材Aを用いると施設内の上層部における熱気の滞留はほとんどなく、資材Aは、一般的なポリエチレン製目合い1.0mmの防虫ネットと高温抑制効果は同等であった。

[キーワード：防虫ネット，高温，通気性，間隙率]

Study on Choice and the Index for Insect Barrier Net Superiority in Air Transmissivity. MORIYAMA Tomoyuki, Mitsunori HAYASHI and Osamu IDE (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikusino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 27: 99-103(2008)

During the period of time when the summer wind speed is slow in the open field, the wind speed inside a greenhouse with an insect barrier net on the ceiling and the sides gets even slower. As a result, the temperature in the greenhouse gets higher than the temperature in the open field.

The transmissivity of the air in the greenhouse is influenced by the size of the mesh and the material of the insect barrier net. We chose an insect barrier net with small mesh, and made use of digital images as the index, which simplified the measurement of the porosity of the net.

The insect barrier net "A" with a mesh of 0.4mm, made of significantly thin thread resulted in the largest porosity of all the insect barrier nets tested. The temperature of the upper part of the greenhouse where net "A" was located, which was made of polypropylene thread, did not get high. The high-temperature prevention effect in the greenhouse where net "A" was installed was equal with that of the greenhouse where a net with a mesh of 1.0mm was installed.

[Key word: insect barrier net, high temperature, air transmissivity, porosity]

緒言

夏季の野菜生産では害虫の飛来が多いために害虫対策が必須である。一方、食の安全・安心に対する消費者の関心が急速に高まっている中、この害虫対策を従来の農薬を用いた化学的防除だけで対処するのではなく、防虫ネットや紫外線除去フィルムなどを積極的に活用した総合防除技術^{4), 7), 8), 5)}を用いることが求められている。

防虫ネットは施設栽培で利用しやすい物理的防除技術であり、現在、コナガ等の鱗翅目害虫を対象に目合い（ネットの糸の交点間の距離）の大きさが1～4mmの防虫ネットを中心に広く利用されている²⁾。しかし、近年九州地域の施設トマトに甚大な被害を及ぼしているトマト黄化葉巻病は、従来問題とした害虫（鱗翅目害虫）よりも微小なシルバーリーフコナジラミが媒介するため、害虫の侵入防止にはこれまでの防虫ネットよりも目合いの細かい資材を使う必要があり、資材を利用した施設では夏季に施設内が高温になることが懸念される。

農業で用いられる防風網、不織布、防虫ネットなどの資材は各資材メーカーが毛羽の有無や繊維の太さ、編み方などが異なる多種の商品を販売している。資材についての研究は、防風網では真木が風洞施設を用いて20種

類の通気性を相互比較⁷⁾し、不織布では陳¹⁾、五十嵐³⁾、小沢¹⁰⁾らが栽培畝に被覆するべたがけ用不織布の資材下の温度環境などを明らかにしている。一方、防虫ネットでは村松⁸⁾や金子ら⁴⁾がその防虫効果や施設内の気温を多種の資材で比較しているが、風環境や施設内の温度分布から防虫ネットを展張した施設内の環境を総合的に検討した研究はない。

現在、防虫ネットの資材選定は、防ぎたい害虫の大きさから判断した目合いの大きさを指標に行われている²⁾が、ネットの種類によっては顕著な高温を生じる事例があり、従来の選定指標に加えて高温になりにくい資材選定の指標となる新たな基準作りが急がれている。

そこで、減農薬栽培および高温抑制による夏季野菜生産の安定化を目的として、実験用の箱型施設において、防虫ネットの種類が施設内の気温、風速等に及ぼす影響について検討した。また、微小害虫の侵入を防止でき、通気性に優れた目合い0.4mmの防虫ネットを選定し、加えて防虫ネットの新しい選定指標を確立したので報告する。

材料および方法

試験 1：防虫ネットの種類が施設内の気温、風速に及ぼす影響

試験には主風向が北西の圃場（面積36a）の中に横4m、長さ4m、高さ1.5m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、

* 連絡責任者（筑後分場）

1) 八女分場

2) 野菜栽培部

施設の側面及び天井面に数種類の防虫ネットを展張した。施設内の気温は施設中央の高さ15cm, 75cm, 140cmで15分間隔で測定した。施設内の風速は施設中央の高さ75cmで15分間隔で測定した。

(1) : 2002年6月1日~6日の間, 目合い12.0mm, 目合い1.0mm, 目合い10.75mm, 目合い10.6mmの4種類(系の素材は目合い12.0mm, 1.0mm, 0.6mmはポリエチレン, 目合い10.75mmはポリエステル系に塩化ビニルをコーティング)の防虫ネットをそれぞれ各施設の側面および天井面に被覆して, 施設内気温, 風速を測定した。(2) : 2002年6月21日~7月22日の間, 目合い11.0mm, 目合い10.8mm, 目合い10.4mmの3種類の防虫ネット(系の素材は総てポリエチレン)をそれぞれ各施設の側面および天井面に被覆して, 施設内気温, 風速を測定した。

また, 九州沖縄農研センターの風洞装置(縦90cmx横90cm)を用いて各資材の通気性の評価を行った。評価は, 防風網の通気性評価で真木が行った手法⁶⁾に準じ, 風洞実験装置内に断面45cmx45cm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45cmx横45cmの資材を張って風速1m/s, 4m/s, 9m/sの通風処理を行った。風速測定は, 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。

試験 2: 目合いの細かい防虫ネットの通気性と間隙率

供試資材は, 素材が異なる目合い10.4mmの資材A~Dと, 現地に普及しているポリエチレン製の目合い11.0mmの資材Eの計5種類を用いた。通気性調査は, 九州沖縄農研センターの風洞実験装置(縦90cmx横90cm)を用いて試験 1と同じ方法で行った。

間隙率の算出は以下の方法で行った。黒色紙を背景に置いた防虫ネットを実体顕微鏡で50倍に拡大し, デジタルカメラ(OLYMPUS製:C-2040ZOOM)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, それぞれのピクセル数(全ピクセル数1,920,000)をカウントして隙間の比率を計算した。

試験 3: 間隙率の異なる防虫ネットの高温抑制効果

試験は, 試験1と同じ大きさの箱型施設を用い, 施設の側面及び天井面に目合い10.4mmの防虫ネット資材A, B, Cと, 比較のために既に現地で普及している目合い11.0mmの資材Eを展張して試験1と同じ方法で風速, 気温を測定した。

結果および考察

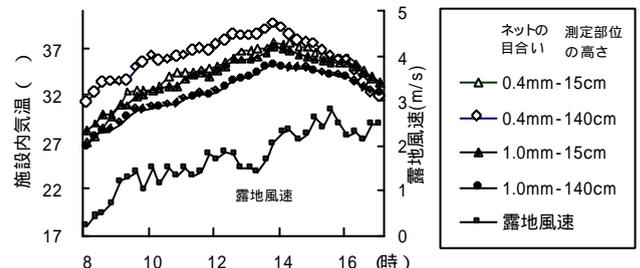
試験 1: 防虫ネットの種類が施設内の気温, 風速に及ぼす影響

調査期間の中で日照時間が最も長い6月2日と7月12日の計測値を解析した。7月12日の目合い11.0mm区では, 高さ15cmの気温が最高で37.2であり, 高さ140cmの気温は15cm気温に比べて低い値を示した。一方, 同日の0.4mm区では, 高さ15cmの気温は目合い11.0mm区と同等であったが, 140cm高さの気温は15cmに比べて高く最高で39.6まで上昇した。目合い10.4mm区の高さ140cmの気温は露地風速が2.1m/sを超えた14時から下降し, 14時30分以降は高

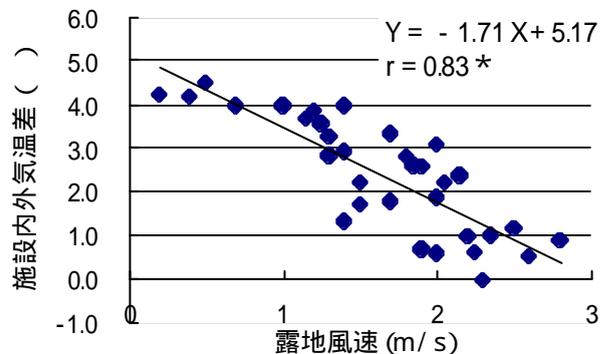
さ15cmの気温と同等な値を示した(第1図)。また, 同日の8~17時の施設内平均風速は, 0.4mm区が0.5m/s, 1.0mm区が1.0m/sで0.4mm区が1.0mm区に比べて小さな値を示した(データ略)。これらから, 防虫ネットは種類によって施設内の風速と高さ別の温度分布が異なることが明らかとなり, 施設内の温度は露地風速, 施設の通気と深い関係があることが類推された。

15分間隔で計測した0.4mm区の温度, 風速値をもとに, 露地の風速と施設内外気温差(施設内気温 - 露地気温)との関係を検討した。その結果, 露地の風速と施設内外気温差とは負の有意な相関関係を示し, 露地風速が大きくなるほど気温差は小さくなる傾向を示した(第2図)。つまり, 夏季高温期において目合いが0.4mmの防虫ネットを張った施設では, 露地風速が小さい場合, 施設内外の熱交換が抑制されて施設内に熱気が滞留されるため施設内が高温となることが示唆された。真木は, 周囲175mに高さ2mの防風網を張った水田における水田上の気温の昇温メカニズムを, 減風により乱流輸送が減少され, 日射により吸収した熱エネルギーの拡散が少なくなることによると報告している⁶⁾。今回の研究とは, 水田と施設, 資材の種類, 上部展張の有無など異なる点はあるものの, 熱エネルギーの拡散が抑制された条件では気温が上昇するという点で同じと推察される。

施設内の熱の滞留程度を防虫ネットの種類別に比較するために施設内の高さ140cmと75cmの気温差(上中部気温差: 高さ140cm気温 - 高さ75cm気温)を算出した。目合いが1.0mmより大きい防虫ネット区では140cmの気温が75cm気温に比べて



第1図 防虫ネットの種類と露地風速及び施設内気温 (2002.7.12調査)
注) 供試した防虫ネットはポリエチレン製。



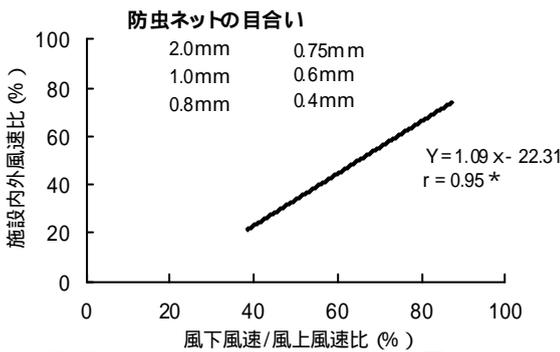
第2図 露地風速と高さ140cmの施設内外気温差との関係

注) 供試した防虫ネットは目合い10.4mm, ポリエチレン製
*は5%水準で有意な相関関係がある。

第1表 防虫ネットの特性と施設内上中部の気温差

目合い	風下/風上		施設内外		施設内上中部気温差	
	風速比	mm	風速比	%	6/2	7/12
2.0	86.9	77	—	0.2	—	
1.0	72.4	65	—	0.3	0.3	
0.8	64.8	55	—	—	0.9	
0.75	44.5	22	—	1.3	—	
0.6	64.4	33	—	0.7	—	
0.4	38.3	35	—	—	1.4	

注) 1. 風下/風上風速比は風洞実験により算出。
 2. 気温差は11～15時の高さ1.4mと0.75m位置の差の平均で施設上部の気温が中部気温より高い場合をプラスで表示。
 3. 6/2、7/12は同日とも晴天、最高気温33℃。
 4. 糸の材質は目合い0.75mm 資材が合成繊維(主体はポリエステル)、その他はポリエステル。



第3図 防虫ネットの目合いの大きさと風下風速/風上風速比及び施設内外風速比との関係

注) 施設内外風速比(%)は施設内風速÷露地風速×100。
 *は5%水準で有意な相関関係がある。

低かったが、目合いが0.8mmより小さい区では140cm気温が75cm気温に比べて高く、特に目合い10.75mm区と0.4mm区が1以上高い値を示した。同日の施設の通気性を示す内外風速比(施設内風速÷露地風速)を算出すると、目合い1.0mm区、2.0mm区が65%以上の値を示し、施設の通気性が高かった。また、目合い10.75mm区は糸が合成繊維でできていて太いため、通気性は低く風速比は22%で0.6mm区や0.4mm区よりも小さな値を示した(第1表)。

一方、風洞実験装置を用いて防虫ネット自体の通気性を示す風下風速/風上風速比(以下、風下/風上風速比)を計測した結果、目合い2.0mm防虫ネットが84.1%と最も通気性が優れ、目合い10.4mmネットが38.3%と最も通気性が劣った。目合い10.75mmネットは目合い10.6mmネットに比べて目合いは大きい、糸が太いために風下/風上風速比が小さな値を示した(第1表)。なお、この風下/風上風速比と内外風速比には正の有意な相関関係がみられた(第3図)。

以上のことから、施設内の熱気の滞留程度は防虫ネットの種類によって異なり、施設の通気性と深い関係があることが示唆された。また、施設の通気性は、防虫ネットの目合いの大きさとネットの素材が大きく関与し、通気性を示す風下/風上風速比との関係が深いことが明らかになった。このため、夏季高温期に防虫ネットを張った施設内の高温を抑制するには、施設の通気性を向上させることが重要であり、そのためには通気性が優れた防虫ネットの利用が効果的と考えられる。

試験 2: 目合いの細かい防虫ネットの通気性と間隙率
 近年、問題になっているシルバーリーフコナジラミは、

目合い10.4mm防虫ネットの通過率が1.2%と顕著に低く¹⁾、目合い10.4mmネットを用いれば害虫の侵入を抑制できると思われるため、目合い10.4mm防虫ネットの種類別通気性評価と選定指標を検討した。

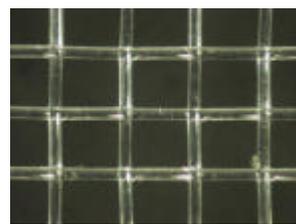
供試した目合い10.4mmの防虫ネットは、資材Aはネットの素材がポリプロピレン(PP)、資材B、Cは素材がポリエチレン(PE)、資材Dはポリエステル(PET)である。ポリプロピレンはポリエチレン、ポリエステルに比べて引っ張り強度に優れるため、極めて細い糸を製造できる特長があり²⁾、資材Aは糸の太さが75デニールと他の資材に比べて細い。各ネットの風下/風上風速比を計測した結果、目合い10.4mmの防虫ネットの中では、資材Aが76.1%と最も高かった(第2表)。

先に、施設内の温度環境は資材の通気性(風下/風上風速比)との関係が深いことを述べたが、この通気性を把握するには、風洞装置での風速測定が必要であり、これには多くの時間と手間を要する。また、陳らはべたがけ用不織布の間隙率(資材の一定面積に占める隙間面積の割合)を、不織布をモノクロフィルムに拡大撮影して、それを印画紙に拡大して焼き付け、画像の不鮮明な部分は適宜手で修正して、次に印画紙の白黒面積をイメージスキャナでパソコンに読み込む手法で算出¹⁾したが、これには多くの手間がかかると考えられる。そこで、試験方法に記述したように50倍に拡大できる顕微鏡とデジタル

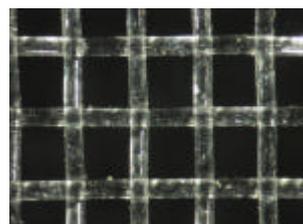
第2表 目合い0.4mmの防虫ネットの種類と通気性(風下/風上風速比)及び間隙率

	目合い		糸の材質	風下/風上風速比		間隙率	
	mm	d		%	%		
①資材A	0.4	75	ポリプロピレン	76.1	60.9		
②資材B	0.4	150	ポリエチレン	59.7	44.4		
③資材C	0.4	165	ポリエチレン	59.0	43.4		
④資材D	0.2、0.4	25	ポリエステル	59.9	45.4		
⑤資材E	1.0	280	ポリエチレン	78.5	61.7		

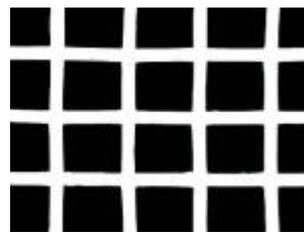
注) 1. 風下/風上風速比は風洞実験により算出。
 2. 間隙率は防虫ネットを顕微鏡で50倍に拡大して撮影し、その画像をパソコンに入力して画像処理(二値化)を行って資材と隙間を区別させ、それぞれのピクセル数(全ピクセル数:1,920,000)をカウントして算出。
 3. 糸の太さ(メーカー聞き取り)の単位はd(デニール)。
 4. 資材Dの目合いは、強度を高めるために全体の約80%が0.2mm、残り約20%が0.4mm。



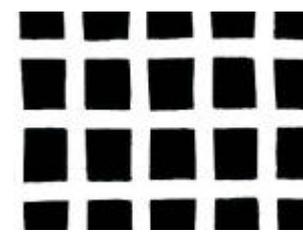
[資材Aの実物写真]



[資材Bの実物写真]



[資材Aの二値化画像]

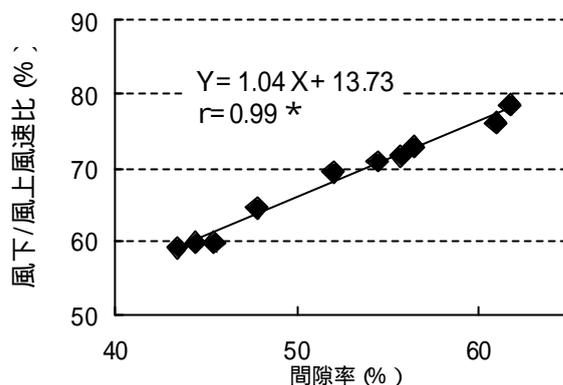


[資材Bの二値化画像]

写真1 資材A、Bの実物写真と二値化画像

カメラ、パソコンがあれば容易に算出できる間隙率と通気性との関係を検討した。

画像処理の結果、供試した資材A~Eは糸の部分に白に、隙間部分を黒に明瞭に区分できた。写真を見ると、資材Aの糸が資材Bに比べて細く、同一画像面積で隙間の割合が多いことが確認できた(写真1, 2, 一部データ略)。画面の全ピクセル数から隙間面積の割合(間隙率)を算出すると、目合い10.4mmの防虫ネットの中では、資材Aは60.9%と最も高い値を示した(第2表)。間隙率と通気性を示す風下/風上風速比との関係は、正の有意な相関関係を示し、間隙率が大きくなるほど風下/風上風速比が大きくなる傾向がみられた(第4図)。隙率は素材の長波透過率と間隙率との関係を検討した結果、長波透過率と間隙率は正の相関関係があることを報告している¹⁾。今回の検討とは、通気と長波放射、防虫ネットの糸は通気しないがべたがけ用不織布の素材は一定量の長波長を透過させることなどの点が異なるが、「隙間と透過」の関係性は性



第4図 間隙率と風下/風上風速比との関係

注) *は5%水準で有意な相関関係がある。

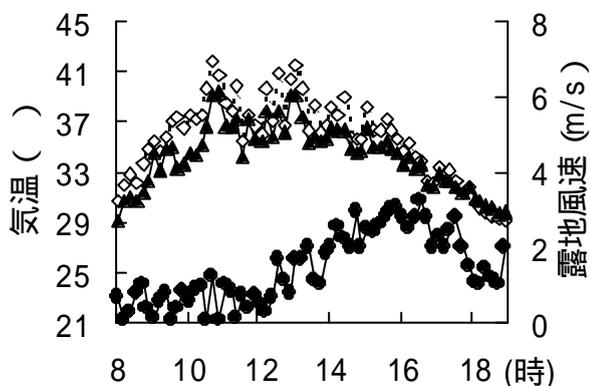
が同程度のべたがけ用不織布を用いて、資材の長波透過と同じと考えられる。

以上のことから、目合い10.4mmの防虫ネットの中では、資材Aは間隙率が最も高く、通気性も優れることが明らかとなった。また、目合いの細かな防虫ネットを通気性の優劣で選定する場合、通気性と相関関係にある間隙率を選定の指標にできることが示唆された。

試験 3 : 間隙率の異なる防虫ネットの高温抑制効果

晴天日2004年8月14日に目合い10.4mmの防虫ネットの資材A(間隙率60.9%)と資材B,C(間隙率44.4%, 43.4%),そして目合い11.0mmの資材E(間隙率61.7%)を箱形施設に張った場合、資材Aの施設内の高さ140cmの気温は高さ15cmに比べて低かったが、資材Cでは高さ140cmの気温が最高で42.1と15cmに比べてほとんどの時刻で高かった。また、この日は午後から風が強くなり、風速が2.5m/sを越えた15時過ぎからは高さ15cmと140cmとの気温差が小さくなった(第5, 6図)。

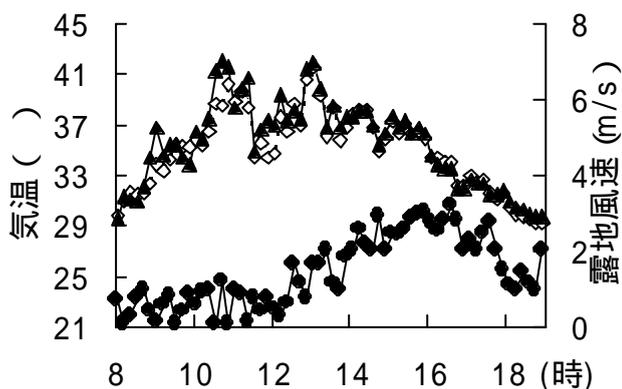
また、施設内の高さ別気温を比較するために、同日の高さ15cm, 75cm, 140cmの10~14時の平均気温をみると、間隙率が60.9%の資材Aを展張した場合、施設内の上層部に熱気の滞留はほとんどなく、高さ140cmの気温は目合い



第5図 資材A展張施設内の高さ別気温

---◇--- 高さ15 cm —▲— 高さ140 cm
—●— 露地風速

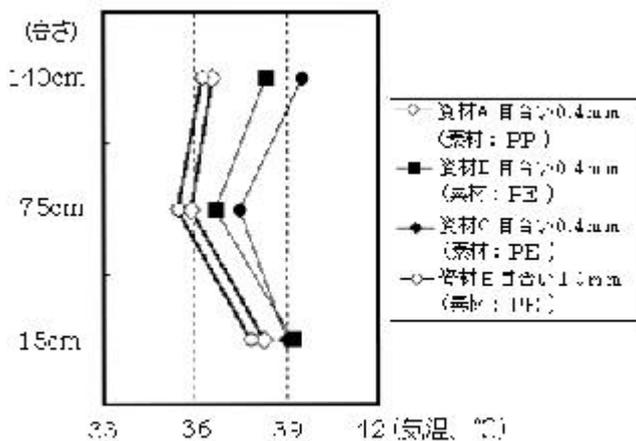
注) 資材Aの間隙率は60.9%。



第6図 資材C展張施設内の高さ別気温

---◇--- 高さ15 cm —▲— 高さ140 cm
—●— 露地風速

注) 資材Cの間隙率は43.4%。



第7図 防虫ネット展張施設内の高さ別気温

注) 値は2004年8月14日、10~14時気温の平均値。

1.0mmの資材Eと同程度で他の0.4mm防虫ネットに比べて低かった(第7図)。

以上のことから, 間隙率が60%以上の防虫ネットを利用すると, 露地風速が小さい場合でも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。また, 露地風速が強くなるほど施設上下層の気温差が小さくなったのは, 露地風速の増大により施設の内と外の間で空気の流動が促進されたために施設上層部に滞留していた熱気が外部へ流出したことによるものと推察される。

目合い0.4mmの防虫ネットでは, 資材Aが施設内の上層部における熱気の滞留はほとんどなく, 高温抑制効果が目合い1.0mmのポリエチレン製の防虫ネットと同程度で高いことが明らかになった。しかし, 資材Aは糸が細い半面, 素材のポリプロピレンはポリエチレンに比べて耐候性がやや劣るために数年に渡って展張する場合には防虫ネットの破損の有無を点検する必要がある。また, 糸が細いので他資材と比較して一つ一つの隙間面積は広がっているため, 従来の0.4mmネットよりも害虫の侵入に注意する必要がある。

細かな目合いの防虫ネットはまだ開発段階で, 今後, 様々なものが市販されるようになると考えられる。選定にあたっては, 対象作物と対象害虫, さらに地域の気象特性を考慮して, 目合いの大きさだけでなく間隙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。

引用文献

- 1) 陳 青雲・岡田益己・相原良安(1989)べたがけ資材の長波長特性と被覆下の正味放射量および葉温について. 農業気象44: 281-286.
- 2) 福岡県農政部(2007): 野菜病害虫・雑草防除の手引き. 福岡. 53-54.
- 3) 五十嵐大造・植松 斉・三浦泰昌(2000)キャベツ凍害防止のためのべたがけ用資材の開発. 農業気象56: 295-301.
- 4) 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.
- 5) 真梶徳純・藤原孝之・天野 洋(1983)オンシツコナジラムのハウス内への飛び込みと定着に及ぼす紫外線除去フィルムの影響. 千葉大園学報32: 99-105.
- 6) 真木太一(1979)防風網による水田の昇温効果. 農業気象34: 165-176.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 大石不二夫(1997)プラスチックのはなし. 東京. 日本実業出版社: 84.
- 10) 小沢 聖(1989)べたがけによる野菜の台風対策. 農業気象44: 295-299.
- 11) 野菜試験研究成績概要集(公立)関東・東海・北陸(2002): 422-423.