冬期における PVA フラットヤーンを使用した べたがけ資材下の微気象特性

五十嵐大造・木下茉実・鈴木将之・吉田綾子・上地由朗

(東京農業大学短期大学部)

Characteristics of Micrometeorology under Row Cover Materials made of PVA Flat Yarn in Winter.

Daizou IGARASHI, Mami KINOSHITA, Masayuki SUZUKI, Ayako YOSHIDA, and Yoshiaki KAMIJI

(Faculty of Junior College, Tokyo University of Agriculture)
(1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan)

Abstract

We compared the effects of heat retention of the row cover material 'PVA flat yarn fabric' with that of PVA non-woven fabric (trade name Tuffbell) from December to January. A tunnel-shaped floating row cover (1 m wide and 30 cm high in the middle) was installed in an open field, and the internal microclimate was measured. PVA flat yarn fabric is made from flat plate-like fibers (6 or 7 mm wide) propped up straight with polyethylene line. Four vacant space rates (22%, 33%, 56%, and 67%) were set up by changing the intervals of the flat yarns, whereupon the following finding became clear.

- 1) On sunny days, the smaller the vacant space rate of the material, the higher the air and soil temperature under the row cover rose in the daytime, although conversely, both dropped at night.
- 2) The difference in air temperature between the inside and outside (row cover-no cover) decreased as the wind velocity increased from 0 m/s to 0.7–0.8 m/s, although the air temperature under the row cover at night rose, when the wind velocity exceeded a certain figure.
- 3) Materials most closely akin to Tuffbell 3800N with respect to the beneficial effects on temperature under the row cover were the PVA flat yarn fabric, the vacant space rates of which were 56% and 67%. The PVA flat yarn fabric was considered to be usable as a substitute for PVA non-woven fabric.
- 4) When the vacant space rate of PVA flat yarn fabric exceeded that of PVA non-woven fabric, an equivalent effect on heat retention was obtained. This may encourage the development of novel materials with good ventilation and the use of PVA flat yarn for the purpose of heat retention.

Key words: Flat yarn, PVA, Row cover, Temperature, Ventilation.

キーワード: 温度, 通気性, フラットヤーン, ベタがけ, ポリビニルアルコール(PVA)

1. はじめに

現在広く普及しているべたがけ栽培は、1950年代に沖縄地方における防虫、防風対策としてネット類が利用されたのが始まりと言われている(Nakamura, 1997)。以後、1970年代にPVA割繊維不織布、1980年代にポリプロピレンおよびポリエステル製の長繊維不織布が農業用資材として販売されるようになってからは、安価

で取り扱いが容易であること、コストパフォーマンスの高いこと等の理由から急速に全国に普及していった。このうち、PVA割繊維不織布(商品名:タフベル)は透光率、通気率および放射率が高く(Chen *et al.*, 1989)、保温性については、風速の増加に対して内外気温差が長繊維不織布と比較して減少さらには逆転しにくい(Okada and Igarashi, 1987)等の特性を持つ資材である。また耐候性が長繊維不織布よりも優れていることから(Kawaguchi, 1997)広く生産者に普及した。し

かし 2006 年に唯一のメーカー (アイオン化成株式会社) が製造を中止したことによって、PVA 割繊維不織布を長年使用してきた農業生産者に混乱が生じた。PVA を素材とした農業用資材として、幅数ミリから 1 cm 程度の PVA フラットヤーンを長辺の方向に数ミリの等間隔で配置した農業用資材も一部に販売されている。そこで、筆者らはこのような PVA 素材をフラットヤーンで取り入れた農業用資材が、PVA 割繊維不織布の代替資材として利用可能かどうかを検討した。さらに PVA 素材をフラットヤーンとして使用した農業用資材であれば、フラットヤーンの幅、配置等を比較的容易に変更することができる。そこでフラットヤーンの形状や配置がべたがけ内の微気象に及ぼす関係を定性的に明らかにすれば、割繊維不織布とは異なった通気・放射特性を有する新たな有望な資材を作製することが可能であると考えられる。

本研究では PVA フラットヤーンの配置を数パターンに分けて、冬期における保温性に関してべたがけ内部の微気象に及ぼす影響を検討するとともに、実際にコマツナを栽培してタフベル 3800N との比較を試みた。その結果、PVA フラットヤーンべたがけ資材がタフベル 3800N に近似した実用性の高い資材として利用できることが明らかになるとともに、PVA フラットヤーンの配置を変えることによって空隙率を調節することが可能となり、異なる保温特性を持つべたがけ資材を作製できるとともに利用の拡大を図ることが可能と考えられたのでここに報告する。

2. 材料および方法

2.1 試験区

PVA を素材とするべたがけ資材用試作織物 4 種類、タフベル 3800N (以下タフベル) および無被覆の計 6 試験区を設けた。PVA を素材とする織物の原型は、PVA フラットヤーンがポリエチレン製の横糸に支えられて数 mm の隙間を設けて配置されている。このうち幅 6 mm のフラットヤーンを 3 mm の隙間を設けて配置した PVA フラットヤーン織物を資材 A とし、その写真をタフベルとともに Fig. 1 に示した。ポリエチレン製の横糸を無視すれば計算上の空隙率は約 33% となる。以下、資材 A の PVA フラットヤーンを 3 本のうち 1 本を反復しながら除去して PVA フラットヤーンの間隔が 12 mm と 3 mm の反復となり空隙率が計算上約 56% となるようにした PVA フラットヤーン織物 (以下資材 B)、同様に PVA フラットヤーンを 1 本おきに除去してフラットヤーンの間隔が 12 mm で空隙率が計算上約 67% となるようにした PVA フラットヤーン織物 (以下資材 C) および PVA フラットヤーンの幅が 7 mm で、フラットヤーンの間隔が 2 mm となるように配置して空隙率が約 22% となるようにした PVA フラッ

Fig. 1. Photograph of PVA flat yarn fabric (right) and Tuffbell 3800N (left). PVA flat yarn is shaped 6 mm or 7 mm wide and propped with polyethylene line. PVA material A is shown as an example of PVA flat yarn fabric. PVA flat yarns of the material A are propped straight with 3 mm vacant space.

トヤーン織物 (以下資材 D) の計 4 種類を供試した。対象として PVA 割繊維不織布のタフベルおよび無被覆区を設けた。

2.2 実験方法

1) 耕種概要

コマツナ (*Brassica rapa* var. *peruviridis* L.) ‘みずぎ’ (サカタのタネ) を無加温のガラス温室内でタキ育苗培土 (N : 400, P_2O_5 : 680, K_2O : 540 mg/L) を充填した 128 穴セルトレイに 2006 年 11 月 5 日に播種し、2006 年 12 月 2 日に東京農業大学用賀圃場において幅 1 m × 長さ 2.5 m の平床に条間 20 cm, 株間 10 cm, 3 条で定植した。施肥は慣行に従った。べたがけ方法は、すべて間口 1 m, 中央の高さが 30 cm となるようグラスファイバー製の骨材を用いてトンネル状にべたがけ (うきがけ) した。裾は地表面まで十分に下げて余った部分をたぐり寄せて隙間ができないようにピン (黒丸くん) で固定した。

2) 気象観測

温度測定はすべて直径 0.32 mm の T 型熱電対を用いた。気温は、ベッド中央部の地上 10 cm の高さにセンサーを設置して測定した。気温センサーの上部にはアルミホイルで作製した簡易な放射除けを取り付けた。地温は定植と同時にベッド中央部の地下 5 cm にセンサーを埋め込んで測定した。同時に日射計 (LI200X キャンベル社製)、放射収支計 (CN-1R ミドルトン社製) および風速計

(03001 キャンベル社製)を同一圃場内の地上 1.5 m の高さに設置した。計測は定植後 1 日経過してから行った。

気象データはすべてデータロガー (CR-10X キャンベル社製) を介して 30 秒毎に計測し、10 分毎にその平均値を記録するとともに、風速は 10 分間の最大風速も記録した。正味放射量が -70 W/m^2 以下であった 2007 年 1 月 13 日の夜間に各資材下の正味放射量を比較するために、放射計のポリエチレンドーム上約 5 cm に各資材を水平に展開し、資材毎に無被覆と比較しながら連続して 5 回ずつ計測してその平均値を求めた上で無被覆との比を求めた。計測には資材によって計測時刻が異なるため、各資材下の正味放射量の測定値の比較は行わなかった。

3) 生育調査

生育調査は、それぞれ 2007 年 1 月 7 日に各区 7 株ずつ採取して地上部生体重を測定した。また葉面積を自動面積計 (AAM-9 林電工製) で測定し、最大葉のクロロフィル含量を SPAD 簡易葉緑素計 (SPAD-502 ミノルタ製) で測定した。クロロフィル含量の測定には株内の最大葉を用い、無作為に選んだ葉内 10 カ所の SPAD 値の平均値をその個体のクロロフィル含量とした。

3. 結 果

3.1 温度環境

資材間の特性が現れやすい晴天で比較的静穏であった 12 月 17 日から 18 日にかけての気温、地温、風速、日射量および正味放射量の推移を Fig. 2 に示した。なお気

温センサーはコマツナの生育が緩慢だったため、試験期間を通じ植被上に位置していた。日中の最高気温は無被覆区の 13.3°C に対して、べたがけ下では、資材 D が無被覆よりも 10.4°C 高くなり、タフベルでは無被覆よりも最大で 2.4°C 、資材 A では 3.8°C 、資材 B および C では 2.9°C 高く推移した。一方、夜間では資材 D がもっとも低く推移し、無被覆よりも、 $2 \sim 3^\circ\text{C}$ 低く推移した。また、資材 A、B、C およびタフベルは夜間を通して無被覆よりも $0.5 \sim 1^\circ\text{C}$ 低く推移した。資材 A は概ね無被覆よりも 1°C 低く推移し、資材 C およびタフベルは 0.5°C 程度低く推移した。資材 B はその中間であった。

地温は、日中および夜間を通じて資材 D が最も高く推移し、夜間で約 4°C 、日中では最高で 6.6°C 高かった。資材 A は無被覆よりも夜間では $2 \sim 3^\circ\text{C}$ 高く推移し、日中では最高で 4.8°C 高く推移した。資材 B、C およびタフベルは夜間では $1 \sim 2^\circ\text{C}$ 高く推移し、資材 B がやや高く、資材 C とタフベルはほとんど差が無かった。日中では最高で $3.8 \sim 4.7^\circ\text{C}$ 高く推移し、資材 C が資材 B およびタフベルよりも若干低く推移した。

べたがけ内部の温度環境は外部の風速や日射量の影響を受けることから (Okada and Igarashi, 1987), コマツナの影響を排除した上で収穫後もさらに気象観測を継続した。晴天で比較的静穏であった 2007 年 1 月 13 日から 14 日にかけての各資材下の無被覆区との日中における内外気温差と日射量との関係を Fig. 3 に示す。なお図には 10 分間の平均風速が急激に変化すると内外気温差もその

Fig. 2. Variation with time of air and soil temperature under row covers and no cover, radiation and wind speed of no cover on Dec.17-18 in 2006. Air and soil temperatures were measured at 10 cm high and 5 cm deep, respectively.

Fig. 3. Relationship between solar radiation and air temperature difference (row cover–no cover). Air temperatures and solar radiation were measured on January 13th in 2007 when it was clear day with gentle breeze.

Fig. 4. Relationship between wind speed and air temperature difference (row cover–no cover). Data were shown when the effective radiation was under -65 W/m^2 on January 13th in 2007.

影響を受けることが考えられたので、10 分間の平均風速が 20 cm/s 以内の差で 20 分間は安定した風速であったときに、最初の 10 分間を除いたデータを採用した。夜間における無被覆区との内外気温差と風速との関係を Fig. 4 に示す。Fig. 4 では夜間の 10 分間の平均正味放射量が -65 W/m^2 以下のときのデータのみを採用した。日中における内外気温差と日射量との関係は、日射量の増加に伴って内外気温差が拡大し、とくに資材 D は他の資材と比較して顕著であった。資材 A, B, C およびタフベルと比較すると、資材 A での内外気温差が日射量の増加に伴って他の資材よりも拡大し、次いで資材 B の順であった。タフベルと資材 C は日射量の増加に対する内外気温差の増加の割合は最も低く、両資材間での差はほとんどなかつ

Fig. 5. Ratio of effective radiation under row cover to that under no cover

Fig. 6. Comparison of fresh weight, leaf area and value of SPAD (chlorophyll meter readings) of Komatsuna plants among different materials.

^z Different letters within the same chart are significant different ($p < 0.05$) by t-test respectively.

た。夜間における内外気温差と風速との関係では、いずれの資材も無風状態から風速の増加に伴ってその差は小さくなり、風速が $0.6 \sim 0.8 \text{ m/s}$ よりも大きくなると再び拡大し、2 次曲線に良く合致した。タフベルと資材 C は比較的良く近似した関係がみられた。また資材 D は風速の増減による気温差が最も大きく変動し、他の資材と大きく異なる傾向を示した。

3.2 放射環境

晴夜であった 2007 年 1 月 13 日の無被覆と各資材の正味放射量の比を Fig. 5 に示す。資材 D は無被覆の 100 に対して 30 と最も小さく、次いで資材 A が 58 であった。タフベルは 61 で資材 B の 63 とほぼ同等であった。資材

C は 71 と比較的高かった。

3.3 生育状況の比較

2007 年 1 月 7 日におけるコマツナの生育状況の比較を Fig. 6 に示した。生育期間が厳寒期であったことから、全体的に生育量は小さかった中で、資材 D は地上部重が 56 g ともっとも大きな生育を示し、次いで資材 A が 34 g、資材 B が 27 g、資材 C が 26 g の順であった。タフベルは 24 g であった。なお、無被覆区は生育不良となり収穫できなかった。葉面積も地上部重と同様の傾向であった。SPAD 値は資材 A、B および C はいずれもタフベルよりも高い数値であった。資材 D は最も低い数値を示したが、目視による観察では商品性に影響を及ぼすほどの差は認められなかった。

4. 考 察

様々な利用目的を持つべたがけ資材の中でも保温対策に対する要求は強い (Kawaguchi, 1997)。Fig. 2 に示したように静穏で比較的放射冷却が強い夜間では差は小さいものの無被覆区が最も高い気温で推移し、次いで資材 C、B、A の順であった。タフベルの気温推移は資材 B と C に近接し、資材 D が最も低かった。すなわち空隙率が高い資材ほど高い気温を示し、Igarashi *et al.* (1993) が目合いの異なる寒冷紗で行った実験と基本的に同様の結果となった。この理由として空隙率の大きい資材ほどべたがけ内部よりも気温の高い外気が流入しやすいことが考えられる。さらに空隙率の低い資材ほど放射冷却面となる面積が相対的に大きくなることから資材温度が低下することになり、被覆内空気から資材への顕熱フラックスが大きくなって、べたがけ内部の気温が低下したと考えられる。Fig. 5 に示した正味放射量は、放射収支計の直上で各資材を水平に展張して比較したので、本実験で行なわれた展張状況とは異なる。しかし夜間の正味放射量の絶対値が小さい資材 D が最も内部からの放射冷却を抑制し、放射収支の点からみれば、保温性に優れた資材といえよう。それでも資材 D で最も夜間の気温が低くなったのは、放射収支の影響以上にこのような理由による影響が大きかったためと考えられる。このようにべたがけ内部の気温は、正味放射量と風速の影響を強く受けることが考えられることから、Fig. 4 に示したように資材 D では風速が概ね 0.6 m/s、資材 A、B、C およびタフベルでは 0.8 ~ 1 m/s 以下では、風速の増加に伴ってべたがけ内外気温差 (べたがけ内気温 - 外気温) は増加し、風速がそれ以上になると風速の増加に伴ってべたがけ内外気温差は減少したと考えられる。なお平均風速が 1 m/s 以下のような微風速の時には風速計が起動しないことが考えられ (Tani, 1974)、ここで示された風速値は必ずしも絶対値として正

確な風速を反映していない可能性がある。しかし定性的には空隙率の小さい資材ほど風速の影響が顕著であった。資材によって閾値となる風速は異なるものの、何れの資材においても風速 0.6 ~ 1.0 m/s 以下の微風下では風速の増加に伴ってべたがけ内外気温差が増加 (べたがけ内気温が相対的に低下) し、それ以上の風速では一転して風速の増大に伴い内外気温差が漸減したのは Igarashi and Okada (1993) が寒冷紗を例に述べているように、べたがけ内では無風からある程度の小さい風速までは、資材の間隙を通過して内部に侵入する気流によって供給される顕熱よりも資材面の温度低下による顕熱の影響の方が大きいと考えられる。一方、無被覆では資材による放射冷却の緩和がなくても、何も遮られずに風によって顕熱を受ける。風速が増加して資材の間隙から侵入する気流が多くなると、べたがけ内に流入する気流そのものから受ける顕熱とともに、べたがけ資材の温度も風速の増加に伴って顕熱の供給が増加して上昇すると考えられることから、資材面の温度低下の影響による顕熱フラックスは漸減していくと考えられる。さらに資材の放射冷却の緩和効果が加わって内外気温差は再び減少したと考えられる。したがって空隙率の小さい資材ほど内部の温度環境は風速の影響を受けやすいと考えられた。Fig. 2 では、風速を考慮せずに経時変化を示したが、夜間は比較的放射冷却が強い静穏な日を対象として示したため、資材間での温度差については同様な考察が可能と考えられた。

地温は、Fig. 2 に示したように 1 日を通じて資材 D が最も高く、次いで資材 A の順であった。最も地温が低く推移したのは無被覆区であった。空隙率の小さい資材ほど地温が高かったのは、日中にトンネル内の気温が上昇する理由 (Mihara, 1972) と同様、べたがけ資材でも空隙率が小さい資材ほどべたがけ内の暖まった空気が逃げにくくなって内部の気温は上昇し、Okada *et al.* (1989) も述べているように地中への蓄熱が大きくなるためと考えられる。さらに本実験では土壌の含水率を調査していないが、本実験を行った地点と同じ区域に設置されているアメダス観測地点 (東京都世田谷区) では 12 月 9 日から 15 日にかけて 26 mm の降水量を記録しており、土壌は乾燥状態ではなかったと推測できる。したがって空隙率の大きい資材ほど蒸発量は多くなって資材の間隙から潜熱が逃げやすかったこと、さらに空隙率の大きい資材ほど降水によって内部に水分が入りやすくなって土壌含水率が高くなり、潜熱の消費そのものが高まったことも影響したと考えられる。

コマツナの生育についてみると、Fig. 6 に示したように地上部重および葉面積は資材 D が最も大きく、次いで資材 A であり、資材 B、C およびタフベルの間には差は認

められなかった。また SPAD 値は資材 D が最も低くなったがとくに品質に目視上の問題はなかった。このことからコマツナの生育促進のみで評価するのであれば資材 D が有効な資材と考えられた。しかし放射冷却が強まる夜間では、資材 D がもっともべたがけ内部の気温が低下した。さらに本実験で行なったような「うきがけ」方式のべたがけではなく「じかがけ」を行なった場合には、内部の気温はさらに低下して (Igarashi and Okada, 1989) 凍害が助長されることが考えられる。したがって、凍害を引き起こすほどの低温に遭遇するような気象条件下では資材 D は不適当と考えられる。

本論での目的であるタフベルの代替資材となりうる資材としては、Fig. 3, 4 および 5 に示したように、微気象面やコマツナの生育を考慮すると、タフベルに近似している資材 B および C が適当と考えられる。資材 B は空隙率が計算上 56%, 同 C が 67%であることを考えれば、PVA フラットヤーンを配置したべたがけ資材では空隙率を 60% 前後に保つことによってほぼタフベルと同等の特性を持った資材と見なすことができると考えられる。供試したタフベルの空隙率は 48% (Chen *et al.*, 1988) と資材 B や資材 C よりも低いことを考えればべたがけ内の微気象を考察する際には空隙率ではなく通気率で議論すべきであろう。本実験で行った試作資材はフラットヤーンの幅と配置によって設定した単純なパターンの空隙であるので、通気率は空隙率に比例するとしても問題ないと考えられる。一方タフベルは割繊維不織布であることから空隙の形状は複雑であり、通気率と空隙率の関係は PVA フラットヤーン織物とは異なると考えられる。したがって空隙率を指標とした比較は適当ではないであろう。しかし本実験で供試した資材では、同じ空隙率ならばフラットヤーンの形状をした資材の方が割繊維不織布よりも保温性が大いと考えられる。即ち、通気性を高く保ちつつ高い保温性を保つことになり、とくに凍害対策として使用する場合には、通気性が低下したために生じる凍害発生の危険性が減少する (Chen *et al.*, 1988) ことになろう。さらにじかがけでも十分な通気性を保った資材ならば凍害対策用として利用できる (Igarashi *et al.*, 2000) ことになろう。このように同じ PVA を素材とした資材でもフラットヤーンの形状をした資材の利用範囲は広いと考えられる。

PVA フラットヤーンを材料としたべたがけ資材は不織布の形状よりもフラットヤーンの配置や間隔などを比較的容易に設定することができることから、べたがけの内部環境も同様に調節しやすい可能性が高く、有用な資材と成り得ると考えられる。今後、耐候性や価格等、現地での使用を踏まえた上で改善しなければならない点も残されているので、これらの点を解決していく必要があると考えられる。

5. まとめ

べたがけ資材として利用されてきた PVA 割繊維不織布 (商品名: タフベル) の代替品として PVA フラットヤーン織物の保温性についての検討を行った。12 月から 1 月にかけて幅 1 m, 中央部の高さを 30 cm としたトンネル状にうきがけを行ってタフベルと加工した数種の PVA フラットヤーン織物をべたがけ内の微気象の点から比較した。PVA フラットヤーン織物は、幅が 6 mm 又は 7 mm のフラットヤーンがポリエチレンの糸に支えられた形状をしている。フラットヤーンの間隔は適度な隙間を設けて直線上に配置されている。フラットヤーンの幅および間隔の違いによって、空隙率は 22%, 33%, 56% および 67% までの 4 段階に設定した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 晴天日では、空隙率が小さい資材ほど日中のべたがけ内気温および地温が上昇したが、夜間は逆に低下した。
- 2) 夜間のべたがけ内外気温差 (べたがけ内気温 - 無被覆) は風速の増加によって低下するが一定以上に風速が増加すると逆に上昇した。
- 3) べたがけ内の温度の面からタフベルと最も近似したのは空隙率が 56% および 67% の PVA フラットヤーン織物であり、PVA 割繊維不織布の代替資材として使用できると考えられた。
- 4) PVA フラットヤーン織物の空隙率が PVA 割繊維不織布の空隙率より高くても、同等の保温性が得られることから、今後 PVA フラットヤーンを使用することによって、通気性が高く保温性の高い資材を開発できる可能性が示された。

謝 辞

本実験を行うにあたり、資材の試作等において日本合成化学株式会社の中島寛幸氏および瀬川繁氏に多大なるご協力を頂いた。また東京農業大学短期大学部の櫻谷哲夫教授および鈴木邦彦教授に御校閲を賜った。ここに記して深く謝意を表す。

References

- Chen, Q., Okada, M., and Aihara, Y., 1988: Relationship between microclimate under plant blankets and physical properties. *Acta Hort.* **230**, 559–564.
- Chen, Q., Okada, M., and Aihara, Y., 1989: Studies on length radiation properties of row cover (Plant blanket), net radiation and leaf temperature under row cover. *J. Agric. Meteorol.* **44**: 281–286.

- Igarashi, D., and Okada, M., 1989: The dependence of air and leaf temperature on outside wind speed under the row cover by cheesecloth for protecting cabbages from cold injury. *Bull. Kanagawa Hortic. Exp. Stn.* **38**, 15–19.
- Igarashi, D., Okada, M., and Nakayama, K., 1993: Studies on the row covering methods of vinylon cheesecloth to prevent cold injury in cabbage. *J. Agric. Meteorol.* **48**, 349–357.
- Igarashi, D., Uematsu, H., and Miura Y., 2000: Development of new contacting row cover materials to prevent cold injury in cabbages during growing. *J. Agric. Meteorol.* **56**, 295–301.
- Kawaguchi, K., 1997: A variety of row cover materials. In *How to Use Row Covers* (ed. by Okada, M., Ozawa, K.), Nobunkyo, Tokyo, 12–17. 1997. (川口和雄, 1997: いろいろあるぞべたがけ資材, べたがけを使いこなす (ed. by 岡田益己, 小澤 聖), 農文協, 東京. 12–17).
- Mihara, Y., 1972: Heating in daytime. In *Climatic Management of Protected Horticulture*, Seibundo-Shinkosya, Tokyo, 22–24. (三原義秋, 1972: 日中の昇温. 施設園芸の気候管理, 成文堂新光社, 東京, 22–24.)
- Nakamura, H., 1997: Okinawa-the Birthplace of row cover. In *How to Use Row Covers* (ed. by Okada, M., Ozawa, K.), Nobunkyo, Tokyo, 10–12. (中村 浩, 1997: べたがけの故郷—沖縄, べたがけを使いこなす (ed. by 岡田益己, 小澤 聖), 農文協, 東京. 10–12).
- Okada, M., and Igarashi, D., 1987: Characteristics of micro-climate and growth in plant under row cover. *Proc. Annu. Meet. Soc. Agric. Meteorol. Jpn.* 1987, Fujisawa, 4–6 April, 172–173. (岡田 益己, 五十嵐大造, 1987: べたがけ下の環境と作物生育の特徴. 昭和 62 年度日本農業気象学会講演要旨, 藤沢, 4月4–6日, 172–173.)
- Okada, M., Chen, Q., Igarashi, D., 1989: Characteristics of row covering materials and climate under covering. *Agric. and Hortic.*, **64**, 1295–1300. (岡田 益己, 陳 青雲, 五十嵐大造, 1989: べたがけ資材の特性と被覆下の気象. 農業および園芸, **64**, 1295–1300.)
- Tani, N., 1974: Investigation method of agricultural meteorology. In *Agricultural meteorology handbook*, Yokendo, Tokyo, 694–699. (谷 信輝, 1974: 農業気象調査法, 農業気象ハンドブック, 養賢堂, 東京, 694–699.)