

空気膜二重構造ハウスの利用による施設内環境変化が半促成栽培キュウリの生育および収量に及ぼす影響

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	岩崎,泰永 吉田,千恵 穴戸,良洋
発行元	園芸学会
巻/号	10巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 49-54
発行年月	2011年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



空気膜二重構造ハウスの利用による施設内環境変化が半促成栽培キュウリの生育および収量に及ぼす影響

岩崎泰永^{1a*}・吉田千恵¹・実戸良洋²

¹宮城県農業・園芸総合研究所 981-1243 宮城県名取市

²MKV ドリーム 103-0021 東京都中央区日本橋本石町

Effect of Changing the Environmental Factors in a Greenhouse Covered with Double-Layered Air Inflated Plastic Film on the Growth and Fruit Yield of Cucumber Grown under Semi-forcing Culture

Yasunaga Iwasaki^{1a}, Chie Yoshida¹ and Yoshihiro Shishido²

¹Miyagi Prefectural Institute of Agriculture and Horticulture, Takadate, Natori-city, Miyagi 981-1243

²MKV Dream, Nihonbashi Chiyuo-ku, Tokyo 103-0021

Abstract

Effect of changing the environmental factors in a greenhouse covered with double-layered air inflated plastic film (air-inflated greenhouse) on the growth and fruit yield of cucumber in semi-forcing culture was investigated. To determine the advantages, an air-inflated greenhouse was compared with a standard type plastic greenhouse (normal greenhouse). The room temperature, ground temperature and relative humidity were higher, but the solar radiation was lower in the air-inflated greenhouse than in the normal greenhouse. The growth and yield of cucumber were improved in the air-inflated greenhouse. The lower vapor pressure deficit observed in the air-inflated greenhouse increased the stomatal conductance. So the higher room temperature and relative humidity, and the lower vapor pressure deficit increase the photosynthetic rate which improved the yield in the air-inflated greenhouse. The double-layered air inflated greenhouse was effective for both reduction in fuel consumption and increase of fruit yield.

Key Words : fuel consumption, relative humidity, stomatal conductance, vapor pressure deficit

キーワード : 飽差, 気孔コンダクタンス, 燃料消費量, 相対湿度

緒 言

「空気膜二重構造ハウス」とは、屋根面などのフィルムを二重に展張し、その間にブローアなどで空気を送り込んで空気の断熱層を形成することによって、ハウスの保温性を向上させたハウスのことで、単に「空気膜ハウス」と呼ばれることもある(林, 2003)。このハウスの原型は、1960年代にアメリカラットガース大学のRoberts (1975, 1978)によって開発され、北米やヨーロッパを中心に広く普及している(Takakura・Fang, 2002)。国内では、1970年代の後半から空気膜二重構造に関する研究が行われたが(岡田・林, 1983)、実際の生産現場において利用されることはほとんどなかった。しかし昨今は、暖房用燃料価格の上昇や炭酸ガス排出量削減意識の高まりから、保温性を高めて暖房用燃料消費量を削減するための方法として注目され、生産現場

への導入も進みつつある。最近では、公立の研究機関を中心に空気膜二重構造ハウスを利用した様々な栽培試験が行われ、暖房用燃料の削減効果について多くのデータが報告・公表されている(岩崎, 2008a, b; 漆山ら, 2006)。空気膜二重構造ハウスでは、特に低温期の作物の生育や収量がコマツナ、ホウレンソウ、キュウリ、イチゴなどの作物で増加すること報告されている(岩崎, 2008b; 岩崎・相澤, 2008; 吉田ら, 2006)。これは保温性が高まったことが一因であると考えられるが、フィルムの枚数が増加し、日射量が2割程度減少するという不利な点もあり、空気膜二重構造ハウスにおける作物の生育促進や増収の原因は不明である。空気膜二重構造ハウス内の環境変化を詳細に調べ、作物の生育および収量との関連性を明らかにすれば、空気膜二重構造ハウスで栽培された作物の生育や収量をコントロールするうえで重要な情報となる。

そこで、本実験では、キュウリ半促成栽培において、パイプハウスの屋根面を空気膜二重構造とした場合のハウス内環境の変化と、空気膜二重構造が生育・収量に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

2009年12月14日 受付. 2010年4月20日 受理.

* Corresponding author: iwasakiy@affrc.go.jp

^a現在: 農研機構野菜茶業研究所 470-2351 愛知県知多郡武豊町

材料および方法

1. 実験施設の概要

実験は、宮城県農業・園芸総合研究所（宮城県名取市）内にある、隣接する2棟のパイプハウス（幅6.3 m、長さ10.8 m、軒高1.7 m、棟高3.5 m）を用いて行った。一方のハウスは屋根面のフィルム（農業用ポリオレフィン系フィルム、厚さ0.15 mm、商品名ダイヤスター、MKV プラテック）を二重に展張し、その間にプロア（消費電力40 W）で空気を吹き込み空気膜二重構造とした（以下、空気膜区）。ハウスの妻面および巻き上げ式側窓のある側面は、空気膜二重構造とはしなかった。表面積は屋根と側面を合わせて127.2 m²、妻面34.9 m²で合計162.1 m²であり、うち空気膜二重構造部分は81.0 m²だったため、その比率は約50%であった。もう一方のハウスは、空気膜区と同じフィルムを1重に展張した（以下、対照区）。両ハウスともに側面、妻面および天井部分には、内側に0.05 mmのポリエチレン製フィルムを保温カーテンとして設置した。天井部分の保温カーテンは開閉式とし、毎日9時に開放し、16時に閉鎖した。昇温抑制のため、28℃を目安として側面巻き上げ換気を行ったが、その際ハウス内気温や湿度の急激な変化をさけるため、外気温が低い4月上旬までは側面の保温カーテンは閉じたままとして、外側のフィルムのみ開閉した。暖房機の設定温度は15℃とした。

2. 供試作物の栽培

キュウリは接ぎ木栽培とし、穂木は「グリーンラックス2」、台木は「ゆうゆう一輝（黒）」（ともに埼玉原種育成会）を用いた。穂木、台木ともに2009年1月5日播種、1月15日に接ぎ木を行った。株間40 cm、畝間180 cmとして2月7日に定植した。主枝2本仕立てとして、側枝は2節摘心、孫つるは1節摘心とした。試験規模は1区10株、3反復とした。供試ハウスの土壌は埴壤土（褐色森林土）で、施肥は基肥としてCDUs555（N:P₂O₅:K₂O=15:15:15、チッソ旭）で2 kg-N・a⁻¹ 施用し、3月16日からは、OKF-1（N:P₂O₅:K₂O=15:15:15、大塚化学）を溶かした培養液を用いて、1日当たり17.5 g-N・a⁻¹を灌水と同時に施肥した。

3. 調査測定項目

暖房は灯油暖房機（型式KA-205、出力23.3 kWh、ネボ

ン）を用い、小型オイルメーター（RE10LF、日東精工製）で燃料消費量を記録した。温湿度は、通風式乾球・湿球温度計を地上高150 cmに設置して、測定した。湿度の値から飽差を計算して求めた。また、屋根面のフィルムおよび天井保温カーテンに熱電対（T型）を貼り付け、フィルム温度を測定した。空気膜区では、空気膜内部の温度も熱電対を差し込んで測定した。キュウリの群落上部には、日射計（MS-601、英弘精機）を設置した。畝の中央には深さ5 cmに熱電対（T型）を埋設し、地温を測定した。温度、湿度、飽差、フィルム温度、日射量および地温は10分間隔で測定した数値をまず1時間ごとに平均し、次に月別に毎日の同一時刻の値の平均値を計算し、時刻別月平均値として示した。果実の収穫は週3回、長さ20 cmを目安に行った。摘心前に節間長と節数を測定した。また、第1主枝については、栽培終了時に1次側枝の発生数を第30節まで5節ごとに調査した。快晴であった3月18～19日の9～10時に、キュウリ群落上部の完全展開葉の見かけの光合成速度および気孔コンダクタンスの測定を行った。携帯型光合成測定装置LI-6200（Licor）に250 mLのチャンバーを取り付け、測定対象の葉を挟んで測定した。測定時のチャンバー内相対湿度は対照区で47%、空気膜区で56%、光強度は対照区で925 μmol・m⁻²・s⁻¹、空気膜区で709 μmol・m⁻²・s⁻¹、葉温は対照区、空気膜区ともに約32℃、導入空気炭酸ガス濃度は400 ppmであった（それぞれ測定時の平均で示した）。

結 果

第1表に、摘心前の生育結果を示した。節間長は第26節から成長点までの長さに差がみられ、子葉から成長点までの節間長の合計は、対照区197 cmに対して空気膜区216 cmと空気膜区が有意に大きくなった。また、節数は対照区で26.3節に対して、空気膜区では28.5節となり、生育が早くなった。第1主枝の1次側枝発生数は16～25節で、空気膜区が多くなった。発生数の合計でみると、対照区では15.6本/株（発生率62.4%）、空気膜区では17.2本/株（同68.8%）で、空気膜区が多かった（第2表）。

第3表に、果実収量の調査結果を示した。収穫開始は3月中旬で、6月末まで収穫を行った。株当たり商品果収量は、収穫開始時～5月までは常に空気膜区が多く、商品果

第1表 空気膜二重構造がキュウリの節間長と節数に及ぼす影響

試験区	節間長 ^w (cm)						合計 ^x	節数 ^w (節)
	0～5節 ^z	～10節	～15節	～20節	～25節	～成長点		
空気膜区	14.0	28.9	36.4	50.1	51.0	35.8	216.1	28.5
対照区	18.9	27.4	36.2	48.2	53.8	12.6	197.1	26.3
t検定 ^y	**	ns	ns	ns	ns	**	**	*

^z0節は子葉の節を指す

^y*は5%で、**は1%水準で有意差があることを示す（n=10）

^x各節間長の合計

^w2009年3月26日に調査した

第2表 空気膜二重構造がキュウリの側枝発生に及ぼす影響

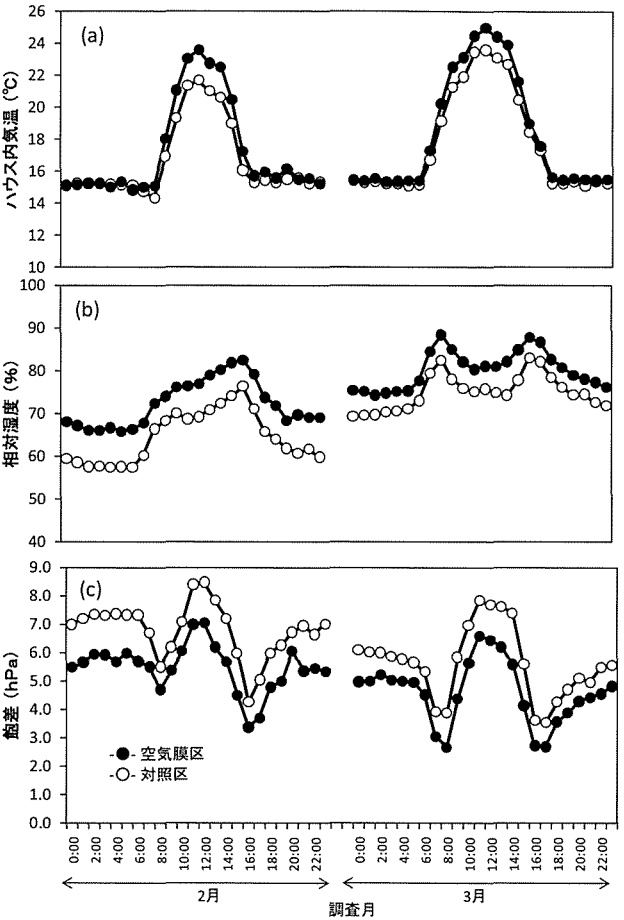
試験区	側枝発生数 ^w (本/株)					合計 ^x
	0 ~ 10 節 ^z	10 ~ 15 節	15 ~ 20 節	20 ~ 25 節	25 ~ 30 節	
空気膜区	1.8	4.0	3.0	4.0	4.4	17.2
対照区	2.2	3.6	2.4	3.0	4.4	15.6
t 検定 ^y	ns	ns	*	*	ns	*

^z0 節は子葉の節を指す
^y*は5%水準で有意差があることを示す (n=10)
^x各節の側枝発生数の合計
^w収穫調査終了後の2009年7月1日に調査した

収量の合計は対照区で13.2 kg、空気膜区で16.0 kgで空気膜区が21%増加した。一方、奇形果などを含めた総収量は対照区20.6 kg、空気膜区22.8 kgであり、奇形果はそのほとんどが曲がり果であった。商品果率は対照区で63.9%、空気膜区で70.0%と空気膜区が高くなった。

第1図に気温、相対湿度および飽差の推移を2および3月について、同一時刻の平均値として示した。夜間の気温はいずれの試験区ともに、暖房機の設定温度である15℃付近に維持された。気温は日中空気膜区が対照区よりも常に高く推移し、その差は日中(8~16時)の平均では2月は1.5℃、3月は1.1℃空気膜区が対照区よりも高かった。相対湿度はハウス側窓の開閉がほとんどなかった2月と、日中側窓を開閉した3月では日推移パターンが異なり、2月は午前~午後にかけて上昇した。一方、3月は8時と16時に湿度が高くなり、換気が行われた日中は湿度の低下が認められた。2月よりも3月の方が相対湿度は高く推移した。相対湿度は2月、3月ともに日中、夜間を問わず、空気膜区が対照区よりも高く推移した。その差は日中(8~16時)の平均で、2月では7.0%、3月では6.1%、夜間(17~7時)は2月では8.3%、3月では4.6%空気膜区が対照区よりも高かった。飽差は2月よりも3月が低く、8時と16時に低下する傾向であった。空気膜区の飽差は対照区よりも常に低く推移し、その差は日中(8~16時)の平均で、2月では1.2 hPa、3月では1.3 hPaであり、空気膜区が対照区よりも低かった。

第4表に、キュウリ葉の見かけの光合成速度および気孔



第1図 気温、湿度および飽差の時刻別月平均値の推移 (a) 気温、(b) 相対湿度、(c) 飽差(相対湿度と気温から飽差を計算)
10分間隔で測定した値を1時間ごとに平均し、続いて毎日の同一時刻の値の平均値を計算し、時刻別平均値として示した
集計期間は2月:2月7~28日、3月:3月1~31日とした

コンダクタンスを測定した結果を示した。見かけの光合成速度は対照区で4.43 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、空気膜区では5.12 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、気孔コンダクタンスは対照区で0.65 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、空気膜区で1.08 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となり、空気膜区で高くなった。

第3表 空気膜二重構造がキュウリの果実収量に及ぼす影響

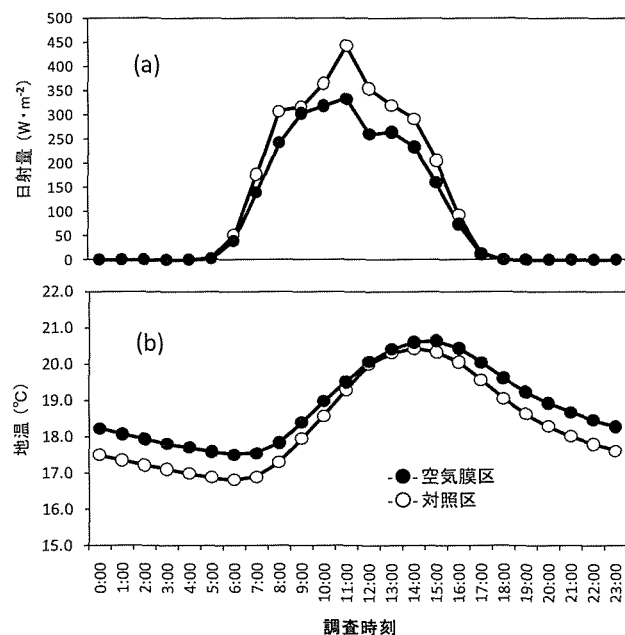
試験区	キュウリ果実収量 (kg/株)									
	3月		4月		5月		6月		合計	
	商品果 ^y	総収量	商品果 ^y	総収量	商品果 ^y	総収量	商品果 ^y	総収量	商品果 ^y ^x	総収量 ^x
空気膜区	1.0	1.3	5.4	6.8	5.4	7.5	4.2	7.3	16.0 (121)	22.8 (111)
対照区	0.4	0.8	3.7	5.3	4.8	7.0	4.3	7.5	13.2 (100)	20.6 (100)
t 検定 ^z	**	**	**	*	*	ns	ns	ns	*	*

^z**は1%で、*は5%水準で有意差があることを示す (n=30)
^y商品果は曲がり果(3 cm以上)、尻太果、尻細果を除いた果実の合計
^x()内は対照区を100とした場合の比を示す

第4表 空気膜二重構造がキュウリ葉の見かけの光合成速度と気孔コンダクタンスに及ぼす影響

処理区	見かけの光合成速度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	気孔コンダクタンス ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
空気膜区	5.12	1.08
対照区	4.43	0.65
t 検定 ^z	*	**

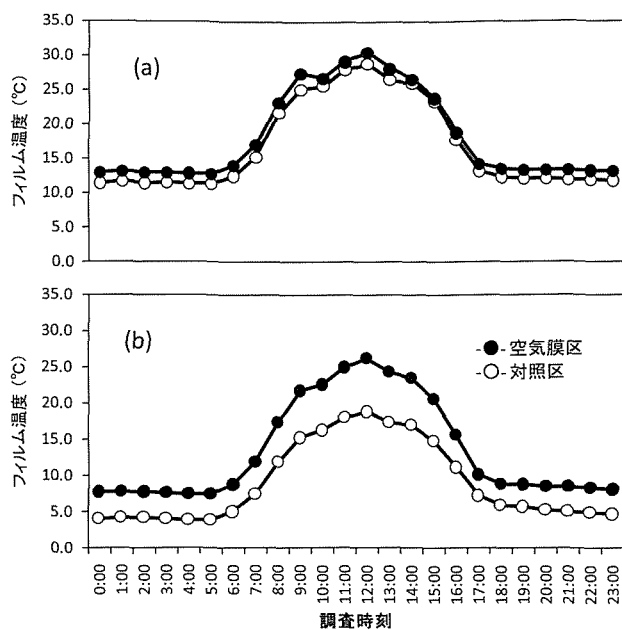
^z ** は1%水準で有意差があることを示す (n=20)



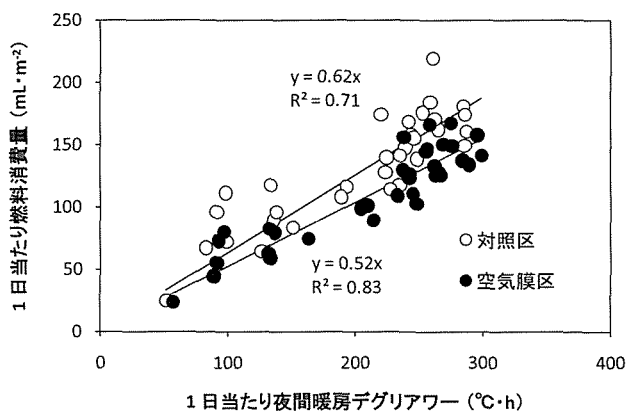
第2図 日射量および地温の推移 (a) 日射量, (b) 地温 (2009年3月1～31日について, 第1図同様, 時刻別平均値として示した)

日射量および地温の推移を第2図に, 第1図と同様に同一時刻の平均として示した。日射量は, 空気膜区は対照区の73～96%で推移し, 積算日射量は対照区の80%であった。日中の地温は両区においてほぼ同じであったが, 夕方から早朝にかけての地温は, 空気膜区に比較して対照区で0.5～0.7℃低く推移する傾向であった。

屋根面のフィルム温度を第3図に, 第1図と同様に同一時刻の平均値として示した。フィルム温度は, フィルム面での結露量を推定するために測定した。フィルム温度と気温の差が大きいほど, フィルム面で結露する量が多くなると考えられる。フィルムの夜間(17～7時)の平均温度は, 天井保温カーテンでは対照区で12.0℃, 空気膜区で約13.5℃で推移し, 屋根面のフィルムは対照区で5.0℃, 空気膜区(この場合は空気膜二重構造の内側のフィルム温度)は8.5℃で推移した。日中(8～16時)の平均温度は天井保温カーテンでは対照区で24.7℃, 空気膜区で26.0℃で推移し, 屋根面のフィルムは対照区で15.6℃前後, 空気膜区(この場合は空気膜二重構造の内側のフィルム温度)は21.8℃で推移した。



第3図 フィルム温度の推移 (a) 天井保温カーテン, (b) 屋根フィルムの内側面 (2009年3月1～31日について, 第1図同様, 時刻別平均値として示した)



第4図 1日当たり夜間(17～7時)暖房デグリアワーと1日当たり燃料消費量の関係 (2009年3月1～3月31日のデータをプロット)

暖房用燃料の消費量を夜間(17～翌7時まで)暖房デグリアワーに対応させて示した(第4図)。1日当たり(17～翌7時)の燃料消費量は, 対照区では25～218 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-2}$, 空気膜区では23～166 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-2}$ となった。原点を通る直線で回帰した場合の傾きは空気膜区は0.52, 空気膜区は0.62となり, 傾きから燃料消費量の比率を計算すると, 空気膜区は対照区の84% ($0.52/0.62 = 0.84$)となることが示された。

考 察

パイプハウスの屋根面などを空気膜二重構造とすると, ハウスの保温性が大きく向上し, 暖房用燃料消費量を20～30%削減できることが報告されており(岩崎, 2008a, b; 漆山ら, 2006), 本実験においても空気膜区は対照区に比べて

2～39%, 平均で26%削減できることが確認された. ハウスの屋根面を空気膜二重構造とすると, フィルム枚数の増加による日射量の減少は避けられず, 本実験においても20%の減少がみられ, 生育や果実収量に及ぼすマイナスの影響が懸念される. しかし, これまでに行った著者らの実験(岩崎, 2008b; 岩崎・相澤, 2008; 吉田ら, 2006)では, 空気膜二重構造の利用によって収量が減少することではなく, 今回の実験でもキュウリの生育や果実収量は対照区よりも空気膜区が優れた. 園芸作物の中でもキュウリの生育および収量は湿度の影響を受けやすく(金井, 1998), 高湿度および高温条件下でキュウリの光合成速度が高くなる(長岡ら, 1984)ことが報告されている. 空気膜区ではハウス内の気温および相対湿度が高く推移しており, キュウリの生育にプラスの影響を及ぼしたと考えられる. 光合成速度は湿度の影響を強く受け, 矢吹(1990)および矢吹・宮川(1970)は, 低湿度条件では気孔開度が小さくなり, 光合成速度が低下するとしている. 平沢ら(1988)は葉の水ポテンシャルが大きいときには, 飽差が低下すると拡散伝導度および光合成速度は直線的に増加するとしており, Mercurio(2007)は切りバラの栽培で気孔を開かせるためには, 飽差を3～5 hPaに維持することが重要であると報告している. 本実験においても空気膜区では対照区より飽差が低く推移しており, 見かけの光合成速度および気孔コンダクタンスが高くなったと考えられる. しかし, 見かけの光合成速度は対照区では $4.43 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 空気膜区では $5.12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であったが, 既報(Nadaら, 2003)の値よりも著しく低かった. これは光合成速度の測定を行った時期は, 定植後1か月以上経過して基肥として定植時に施用した土壌中の肥料成分が少なくなり, 一時的に養分が欠乏したことが一つの要因と思われる. 追肥を開始する時期を調べるために, 3月15日に六本木・加藤(2000)の方法に従って栄養診断を実施した. 第16葉の葉柄を採取し, 汁液中の硝酸イオン濃度を測定したところ, 対照区710 ppm, 空気膜区で680 ppmで診断基準(硝酸イオン濃度で3,500～5,000 ppm)と比べると著しく低くなっており, 3月16日より追肥を開始した. 一時的に養分が不足した条件下での測定であったため, 見かけの光合成速度の値については, 飽差のみに影響されたとは限定できないと考えられる. 一方, 気孔コンダクタンスについては, 一時的な窒素不足は気孔を閉じさせない(Kumagaiら, 2009)ことがイネを使った実験で報告されていることから, 気孔コンダクタンスの差は栄養状態の影響ではなく, 飽差の差を反映していると考えられる. 空気膜区では, 気孔コンダクタンスが大きくなったことからガス交換が活発になり, 光合成が促進されたと考えられる. 空気膜区では, 日中の気温も高く推移した. 気温および湿度の上昇と飽差の低下が光合成速度の増加に結びつき, 地温上昇の効果も加わって日射量の減少を補い, 果実収量が増加したと考えられる.

日射量の減少, 気温, 地温, 相対湿度および飽差が光合

成速度や生育および果実収量に及ぼす影響を独立して検討することは, 今回の実験ではできなかった. 今後, それぞれの要因が及ぼす影響について, 定量的な評価が必要である.

空気膜区では, ハウス内の空気と接触する内張カーテンおよび屋根フィルムの内側面の温度が対照区より高く推移しており, 対照区より空気膜区の方がフィルム面での結露量が減少したと考えられる. 空気膜区は, 対照区より天井保温カーテンや屋根フィルム面での結露量が少ないことが実際に観察された. 結露によって空気中から失われる水分が少なくなったことから, 湿度が高くなったと考えられる. また, 日中ハウス側面の開閉による換気を行った期間(3月中旬以降)においても, 湿度は高く推移していた. これは空気膜区では側枝の発生, 伸張が旺盛であり, 葉面積が多くなった結果, 葉面からの蒸散も多くなり, 湿度が高めに維持されたと考えられる.

空気膜二重構造は, これまでハウスの保温性を向上させる方法として着目されてきたが, 湿度を高く維持しやすく, 作物の生育や収量が優れることが明らかとなった. 単位面積当たりの暖房用燃料消費量の削減に加えて収量増加が期待できることから, 単位収量当たりの燃料消費量と炭酸ガス排出量を大きく削減することが可能であり, 生産農家の経営安定と環境負荷軽減に有効な方法であると結論される. また, 設置が簡単で導入経費も低いことから, 今後, 空気膜二重構造は生産現場に広く普及すると考えられる. 一方, 高湿度による病害の発生の可能性についての検討が今後必要である.

摘 要

ハウスの保温性を向上させる方法として注目されている空気膜二重構造(空気膜区)が, ハウス内環境と作物の生育・収量に及ぼす影響について, キュウリの半促成栽培において通常のハウス(対照区)と比較した. 空気膜区では気温, 地温および相対湿度が高く推移したが, 透過日射量は対照区よりも低くなった. キュウリの生育および果実収量は, 空気膜区が優れた. 空気膜区では飽差が低く推移し, 気孔コンダクタンスが高くなった. 気温および湿度の上昇と飽差の低下によって気孔開度が高まり, 光合成速度の向上を促すことで, 日射量の減少を補って果実収量が増加したと考えられた. 空気膜二重構造ハウスは, 燃料消費量の削減と果実収量の増加に大きな効果があると結論される.

引用文献

- 林 真紀夫. 2003. 保温. p. 116-127. 日本施設園芸協会編. 5訂版施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会. 東京.
- 平沢 正・飯田幸彦・石原 邦. 1988. 水稻葉身の拡散伝導度, 光合成速度に及ぼす葉の水ポテンシャルと空気湿度の影響の相互関係. 日作紀. 57: 112-118.

- 岩崎泰永. 2008a. 空気膜二重構造ハウスによるキュウリ栽培における暖房用燃料消費量の削減効果. 東北農業研究. 61: 147-148.
- 岩崎泰永. 2008b. 空気膜二重被覆により30%の省エネ, 節油効果がある. 研究ジャーナル. 31(8): 16-20.
- 岩崎泰永・相澤正樹. 2008. 30%の省エネ・節油効果が期待できる「空気膜二重被覆」の具体的利用法. 第29回施設園芸総合セミナーテキスト. p. 13-19. 日本施設園芸協会. 東京.
- 金井幸男. 1998. キュウリ, 基礎編, 空中湿度の管理. p. 447-450. 農業技術体系野菜編第1巻. 農文協. 東京.
- Kumagai, E., T. Araki and F. Kubota. 2009. Characteristics of gas exchange and chlorophyll fluorescence during senescence of flag leaf in different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under nitrogen-deficient condition. Plant Prod. Sci. 12: 285-292.
- Mercurio, G. 2007. Cut rose cultivation around the world. p. 69-80. Schreurs B.V., Hoofdweg.
- Nada, K., H. Li-xiong and S. Tachibana. 2003. Impaired photosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by high root-zone temperature involves ABA-induced stomatal closure and reduction in ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72: 504-510.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫. 1984. トマト・キュウリの光合成・蒸散に及ぼす環境条件の影響. 野菜試報 A. 12: 97-117.
- 岡田益己・林 勇. 1983. 空気膜ハウスの簡易試作例とその特徴. 農及園. 58: 57-60.
- Roberts, W. J. 1975. Air inflated and air supported greenhouses. Acta Hort. 46: 163-172.
- Roberts, W. J. 1978. Designs and considerations for greenhouses in the United States now and in the future. Acta Hort. 76: 373-377.
- 六本木和夫・加藤俊博. 2000. 野菜花卉の養液土耕. p. 114-127. 農文協. 東京.
- Takakura, T. and W. Fang. 2002. Climate under cover, 2nd edition, p. 190. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- 漆山喜信・吉田千恵・岩崎泰永. 2006. 空気膜二重構造によるパイプハウスの保温性向上〔1〕設置方法と特徴について. 農及園. 81: 824-828.
- 矢吹万寿. 風と光合成. 1990. p. 38-45. 農文協. 東京.
- 矢吹万寿・宮川秀夫. 1970. 風速と光合成に関する研究(第2報) 風速と光合成との関係. 農業気象. 26: 65-70.
- 吉田千恵・岩崎泰永・高野岩雄・植野耕造・山崎 篤. 2006. 空気膜二重構造の利用によるハウスの保温性向上と葉菜類の生育速度の向上. 農業環境工学関連学会合同大会講演要旨集 (CD-ROM).