

冬春キュウリ栽培における空気膜利用技術による省エネ効果

勝山直樹・福田富幸*・越川兼行**

The effect of saving-energy depending on the air-layer cover methods
during cold seasons on greenhouse cucumber cultivation

Naoki Katsuyama, Tomiyuki Fukuta* and Kaneyuki Koshikawa**

要約：近年の原油価格の高騰による施設園芸農家への影響を軽減することを目的に、空気膜の利用についてキュウリを対象作物として省エネルギー効果や収量・品質に及ぼす影響を検討した。

外張り、内張りの二重被覆構造を持つパイプハウスを用いて、抑制作型及び半促成型でキュウリを栽培した結果、慣行と比較して、外張りまたは内張りいずれかに空気膜を用いた場合は30%前後、外張りと同様に併用した場合は50%程度、暖房用燃料の削減効果が認められた。また、気温や湿度、光線の透過率等のハウス内環境は、慣行と比較して若干の相違は見られたものの、いずれの場合にもキュウリの収量や品質に及ぼす影響は認められなかった。

キーワード：原油価格高騰、省エネルギー、空気膜、冬春キュウリ

緒言

近年の原油価格の高騰によって、重油の単価は2003年頃の1L当たり46円前後から2006年には70円を突破し、2008年8月には125円を超え、この5年間で2.7倍にまで上昇した。その後、価格は下降したとは言え、現在でも1L当たり70円弱の水準で推移している。

こうした重油価格の乱高下は、施設園芸農家の経営を著しく逼迫したものにしている。岐阜県においても、海津市を中心とする地域に大規模な冬春トマトや冬春キュウリの産地が形成されているが、これらの作目では年間に10a当たり8~13kLの重油が冬期の暖房用として消費されることから、その影響は深刻である。

そこで、施設野菜の中でも最も高い夜温管理を要求する品目のひとつであるキュウリを対象に、「収量・品質は維持しながら化石燃料の使用量を30%以上削減する」ことを目標に、2006年度から研究に着手した。その中で、空気を持つ高い断熱性を利用した空気膜という被覆資材に着目し、空気膜をハウスの被覆材として利用して冬春キュウリ（抑制及び半促成型）を栽培した時の燃料削減効果およびキュウリの収量や品質に及ぼす影響等を検討したので報告する。空気膜とは二重のフィルム間にブローワー等で空気を送り込んで膨らませた構造の被覆資材で、これに関する研究は以前より行われていた¹⁾が、今回の原油価格の高騰を受けて再度、その利用価値が見

直されている。

なお、本報告の内容は「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業・東海地域における原油価格高騰対応施設園芸技術の開発（2006~2008年度）」で行った研究において得られた成果である。

試験1 外張空気膜ハウスの省エネ効果

(2006~2007年度)

【目的】

ハウスの外張りに空気膜を用いて冬春キュウリ（抑制作型及び半促成型）を栽培した時の暖房用燃料の削減効果やハウス内環境を明らかにするとともに、収量性や品質について検討する。

【材料および方法】

試験には外張りと同様に二重被覆構造を持つパイプハウス（間口6m×奥行20m）2棟を供試し、各々、外張空気膜ハウス区と対照ハウス区とした。供試ハウスは各々、暖房装置として灯油式温風暖房機（ネポン社製KA-321）を装備し、内張りの開閉は手動による巻上げ方式とした。

外張空気膜ハウス区は外張りを空気膜（側面は一重フィルム）、内張りは一重フィルム（側面は空気膜）で被覆し、対照ハウス区は外張り、内張りとも一重フィルムで被覆した（図1-a）。なお、空気膜へはブローワー（40W）と塩ビ管を用いて24時間送風し、膨らませ続けた。なお、空気膜資材は東罐興産株式会社製「ふくら〜夢」を

* 現中濃地域農業改良普及センター

** 現中山間農業研究所中津川支所

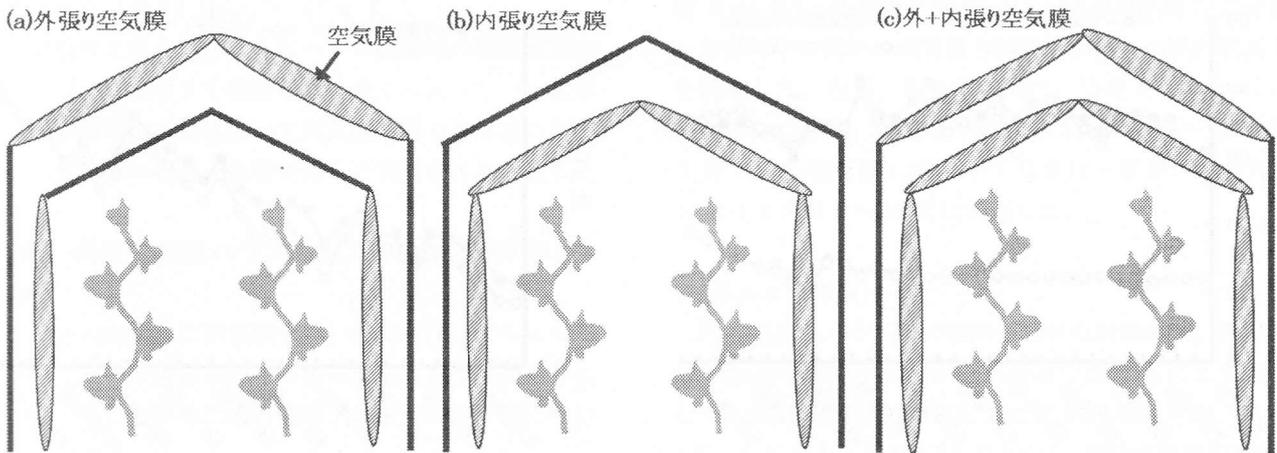


図1 供試した空気膜ハウスの構造 (a: 試験1、b: 試験2、c: 試験3)

供試した。

両試験区において、抑制作型及び半促成作型でキュウリを栽培し、暖房用燃料の消費量、ハウス内環境及びキュウリの収量・品質等を比較した。品種は、抑制作型には「エクセレント節成1号」および「ハイグリーン21」を、半促成作型には「ハイグリーン21」および「トップラン」を供試した。栽培法はつる下げ栽培とし、栽植密度、肥培管理等は岐阜県海津地域の慣行に従った。また、ハウスの暖房機は温度を13℃に設定した。

抑制作型は2006年10月31日に定植し、11月27日～12月21日まで収穫、半促成作型は2007年1月15日に定植し、2月21日～6月20日まで収穫した。なお、暖房期間は2006年11月11日～2007年5月3日までとした。

調査項目は、日毎の暖房用燃料（灯油）の消費量、ハウス内の気温及び地温、光線透過量、収穫量、果肉硬度、糖度、果色等とした。

[結果および考察]

外張り空気膜は、ブローヤからの送風によって最も厚い部分で40cm程度膨らんだ(図2)。鳥害(嘴で穴を開

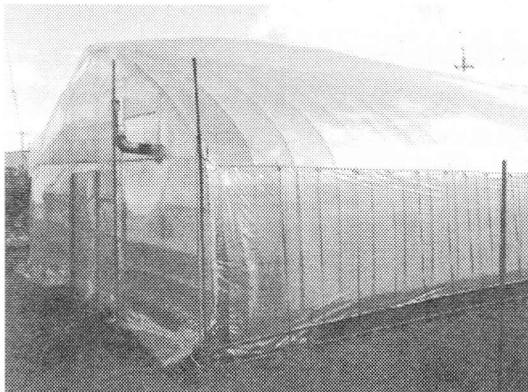


図2 外張り空気膜ハウスの外観

ける)による空気モレは認められず、強風による被害も発生しなかった。耐風性については、空気膜中の空気がクッションの役目は果たすので一重フィルムよりも強いとも言われている。また、対照ハウスよりも屋根に雪が積もりにくかった(=滑り落ちやすい)ことから、当地域で想定される積雪の範囲ならば積雪に対して有利であると判断された。

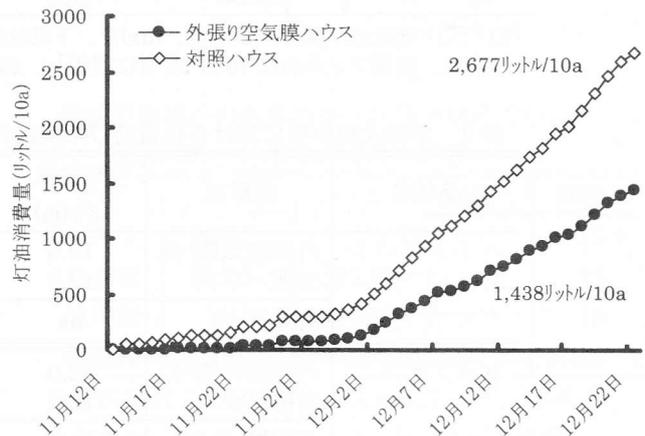


図3 暖房用燃料の累積消費量(制御)

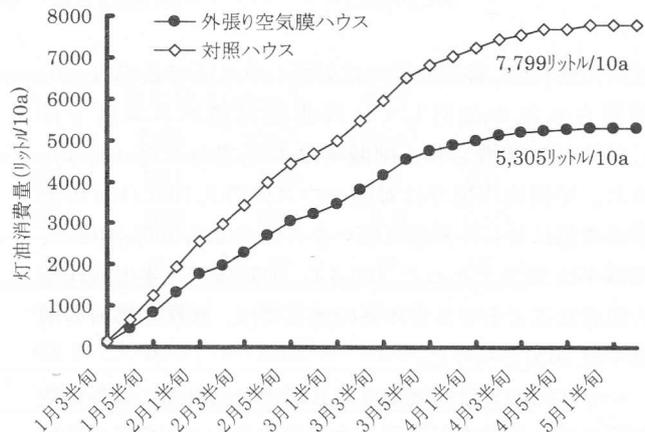


図4 暖房用燃料の累積消費量(半促成)

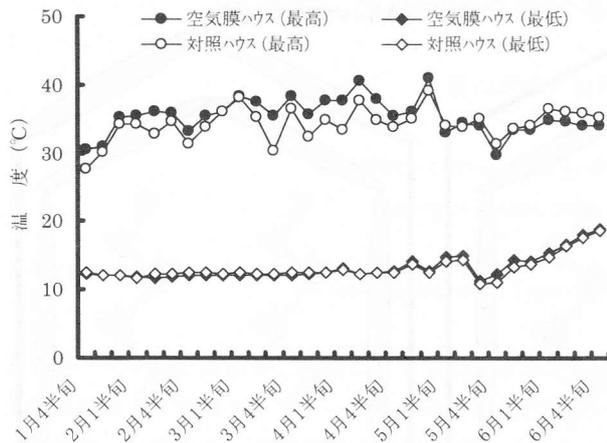


図5 最高・最低気温の推移(半促成)

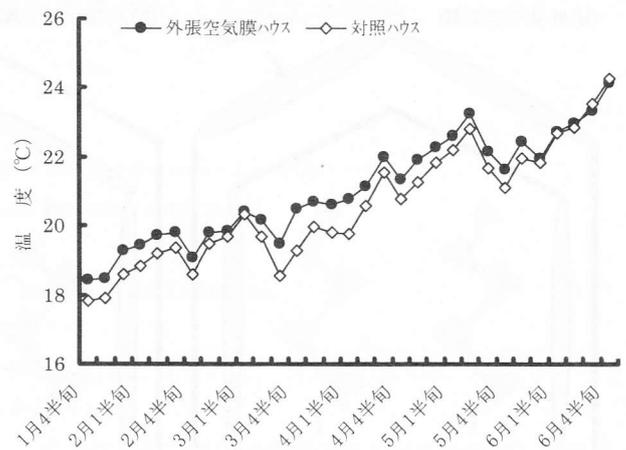


図6 平均地温の推移(半促成)

表1 透過光の強さ及び透過光率

試験区	展張 47 日後 (12月6日)	同 103 日後 (1月31日)	同 159 日後 (3月28日)	同 214 日後 (5月22日)	同 250 日後 (6月27日)
外張空気膜 ハウス	52,300 66.3	57,800 74.2	69,000 74.9	76,800 77.3	60,800 68.9
対照ハウス	61,500 78.0	64,700 83.1	78,000 84.7	85,700 86.3	68,700 77.8
屋 外	78,900	77,900	92,100	99,300	88,300

注)上段は透過光の強さ(垂直照度、lux)を、下段は透過光率(%)を示す。

各区、被覆フィルムは10月20日に展張し、調査は快晴日の午前10～11時頃行った。

表2 半促成制作型における収量及び果実品質(2008)

品種名	試験区	総収量 (t/10a)	A品率 (%)	果肉硬度(g/cm ²)		糖度 (Brix)	果色
				外部	内部		
ハイグリーン 21	外張空気膜ハウス	13.5	63.9	945	787	4.6	6.0
	対照ハウス	12.3	62.2	963	825	4.5	6.0
	有意性	ns	ns	ns	ns	ns	ns
トップラン	外張空気膜ハウス	12.0	63.1	938	817	4.5	5.8
	対照ハウス	12.6	63.9	943	821	4.6	5.7
	有意性	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注) 有意性: ns 有意差なし(t検定による)。

果色は葉色カラスケール(野菜用)を用いて調査した(1:淡緑～7濃緑)。

暖房用燃料は、抑制作型では対照ハウス区で2,677L/10a消費されたのに対して、外張空気膜ハウス区では1,438L/10a消費され、削減率は46%であった(図3)。また、半促成作型では対照ハウス区の7,799L/10aの燃料消費量に対し外張空気膜ハウス区では5,305L/10aで、削減率は32%であった(図4)。抑制作型と半促成作型の組合せによる年2作体系の通算では、暖房用燃料の削減率は36%となった。

ハウス内の日最高気温は4月までの低温期には外張空気膜ハウス区の方が対照ハウス区よりも2.1℃高く推移

したが、5月以降はその差は認められなくなった(図5)。また、地温についても同様な傾向で、5月までは外張空気膜ハウス区の方が対照ハウス区よりも高めに推移し、その差は1～5月の平均で0.5℃であったが、以降その差は認められなくなった(図6)。

フィルム展張後から概ね50日毎に250日後まで光線透過率を調査した。その結果、いずれの調査においても被覆フィルムが1枚多い外張空気膜区の方が、対照ハウス区より10%前後低くなった。また、両区とも展張250日後には光線透過率は展張時に比べやや低下する傾向が

認められた(表1)。

両試験区には上述のようなハウス内環境の相違が認められたが、キュウリを栽培した結果では総収量、秀品率や果肉硬度等の項目において両試験区間で差は認められず、ほぼ同等の収量・品質であると判断された(表2)。

試験2 内張空気膜ハウスの省エネ効果(2007年度)

[目的]

ハウスの内張りに空気膜を用いて抑制作型でキュウリを栽培した時の暖房用燃料の使用量削減効果を明らかにするとともに、さらに燃料削減効果を高める手法についても検討する。

[材料および方法]

試験には、試験1で用いたパイプハウス2棟を供試し、各々内張空気膜ハウス区、対照ハウス区とした。内張空気膜ハウス区では外張りを一重フィルム、内張りは空気膜で被覆し、対照ハウス区では外張り、内張りとも一重フィルムで被覆した(図1-b)。なお、供試した内張り空気膜は東罐興産株式会社による試作品である。

この内張空気膜ハウス区において、午後5時～翌朝8時30分まで連動的に空気膜内へ送風し、これを処理Iとした。さらに燃料削減効果の向上を図るため、内張りの妻面及び側面の内側に高保温性被覆材(サニーコート)を補助被覆材として追加し、空気膜内への送風方法を15分送風・30分送風停止を繰り返す間欠方式に切り替え、処理IIとした。また、処理Iに内張りの被覆方法を変更し、補助被覆材を追加したものを処理IIIとした。さらに、処理Iに空気膜への送風方法を間欠方式にしたものを処理IVとした。なお、夜温の管理は、試験1と同様に行った。

両試験区で品種「ハイグリーン21」を供試して抑制作型のキュウリを摘心栽培及びつる下げ栽培の両栽培法で栽培した(定植2007年9月7日、収穫期間10月3日～

12月21日)。各処理条件における暖房用燃料の消費量を対照ハウス区での消費量と比較し、各々の燃料削減率を調査した。なお、各処理期間は、処理I:2007年12月11日～26日、処理II:2007年12月28日～2008年1月1日、処理III:2008年1月2日～6日、処理IV:2008年1月9日～16日に実施した。

[結果および考察]

内張空気膜ハウス区の暖房用燃料の削減率は、処理Iで13%とやや低かったが、処理IIでは28%にまで向上した。処理III及び処理IVにおける燃料削減率が、各々19%、20%であった(表3)ことから、補助被覆材の追加、空気膜への送風方法の変更(連続→間欠)は各々6～7%程度、燃料削減率の向上に寄与し、その結果、処理IIにおいて削減率は28%にまで高まったものと考えられた。

キュウリを栽培した結果、総収量は内張り空気膜ハウス区、対照ハウス区とも、摘心栽培は11t/10a前後、つる下げ栽培では7t/10a前後と、いずれの栽培法においてもほぼ同等の収量が得られた。また、品質においても両試験区の間には差は認められず、ほぼ同等の収量・品質であった(表4)。

表3 空気膜への送風方法と被覆方法の違いが暖房用燃料の削減に及ぼす影響

処理	送風方法	内張妻・側面	削減率
処理I	連続 ¹⁾	空気膜のみ	13%
処理II	間欠 ²⁾	空気膜+サニーコート	28
処理III	連続	空気膜+サニーコート	19
処理IV	間欠	空気膜のみ	20

1) 夜間、連続で空気膜内へ空気を送風

2) 夜間、15分送風と30分停止の繰り返しで送風

表4 抑制作型における収量及び果実品質

栽培法	試験区	総収量 (t/10a)	A品率 (%)	果肉硬度(g/cm ²)		糖度 (Brix)	果色
				外部	内部		
摘心	内張空気膜ハウス	6.9	67.0	961	809	3.5	6.0
	対照ハウス	7.2	60.0	963	839	3.6	6.2
	有意性	ns	ns	ns	ns	ns	ns
つる下げ	内張空気膜ハウス	10.9	70.5	963	815	3.4	6.8
	対照ハウス	11.1	63.1	974	802	3.4	6.8
	有意性	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注)有意性: ns 有意差なし(t検定による)

試験3 空気膜の外張り、内張りへの併用効果 (2007～2008年度)

[目的]

ハウスの外張り、内張り双方に空気膜を用いて半促成作型でキュウリを栽培した時の暖房用燃料の削減効果やハウス内環境を明らかにするとともに、収量性や品質について検討する。

[材料および方法]

試験には、試験1、試験2で用いたパイプハウス2棟を供試し、各々、外+内張空気膜ハウス区、対照ハウス区とした。外+内張空気膜ハウス区は外張り側面を除く外張り、内張り全面を空気膜で被覆し、内張り妻面及び側面の内側にはサニーコート被覆を追加した。一方、対照ハウス区は外張り、内張りとも一重フィルムで被覆した(図1-C)。外張、内張りに供試した空気膜は試験1、試験2と同じ資材である。また、内張り被覆は、概ね午後5時～午前8時30分までを行い、空気膜への送風は間欠方式(15分送風、30分停止の繰り返し)で行った。

キュウリ品種に「ハイグリーン21」を供試し、半促成作型で摘心栽培とつる下げ栽培の両栽培法で栽培した。耕種概要は、定植が2008年1月15日、収穫期間を2月21日～7月2日とした。また、夜温の管理は、試験1と同様とし、暖房期間は1月15日～5月10日までとした。

調査項目は、日毎の暖房用燃料(灯油)の消費量、ハウス内の気温、地温及び相対湿度、収量、果肉硬度、糖度、果色等の項目とした。

[結果および考察]

調査期間中(2月11日～5月10日)の暖房用燃料の消費量は、対照ハウス区が4,351L/10aであったのに対して外+内張空気膜ハウス区は1,933L/10aで(図7)、燃料削減率は55%となった。

ハウス内の夜温(午後6時～午前6時)は両試験区とも同程度に推移したが、昼温(午前6時～午後6時)は外+内張空気膜ハウス区が調査開始から4月1半旬まで高く、その差はこの期間の平均で2.4℃であった(図8)。

ハウス内の相対湿度は、外+内張空気膜ハウス区が対照ハウス区より高く推移した。昼間の相対湿度(午前6時～午後6時)よりも夜間の相対湿度(午後6時～午前6時)の差が大きく、2008年2月の平均で対照ハウス区が78%であったのに対して、外+内張空気膜ハウス区では87%と約9%多湿となった(図9)。これは、外+内張空気膜ハウス区で保温効果が高まった結果、暖房機の稼働時間が短くなったことが原因と推察された。

キュウリを栽培した結果については、総収量は両試験区とも、摘心栽培では24t/10a前後、つる下げ栽培では12t/10a前後と、いずれの栽培法においても同等の収量が得られた。また、品質においても外+内張空気膜ハウス区は対照ハウス区と比較して同等以上の結果となった(表5)。また、外+内張空気膜ハウス区は対照ハウス区より多湿となったが、両試験区の間にはべと病、うどんこ病、褐斑病等の病害の発生程度に差は認められなかった。

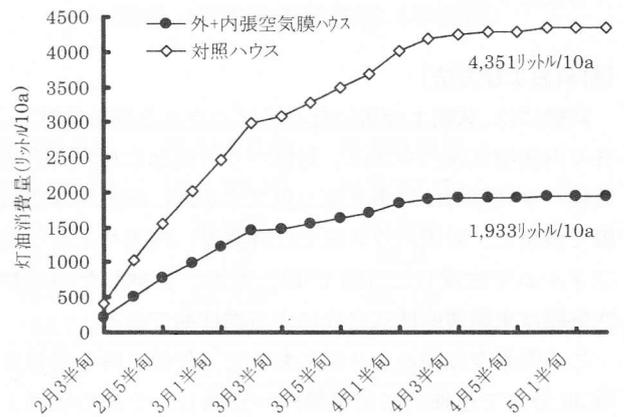


図7 暖房用燃料の累積消費量(半促成)

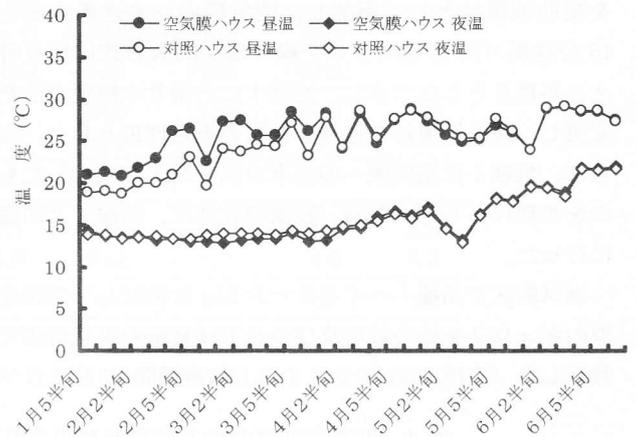


図8 昼間と夜間の平均気温の推移

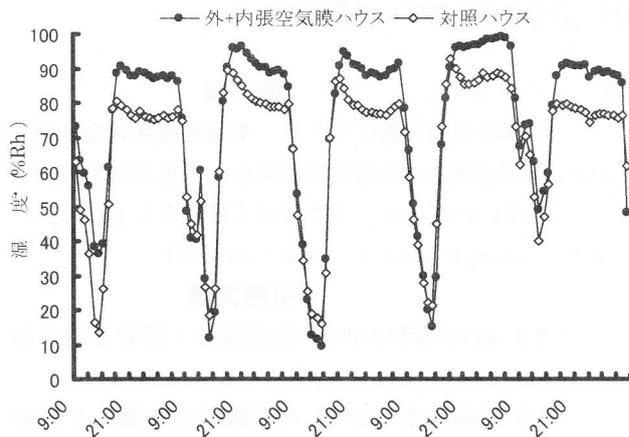


図9 相対湿度の推移 (2008/2/19 ~ 24)

表5 半促成作型における収量及び果実品質

栽培法	試験区	総収量 (t/10a)	A品率 (%)	果肉硬度(g/cm ²)		糖度 (Brix)	果色
				外部	内部		
摘心	外+内張空気膜ハウス	12.5	57.7	953	844	3.7	5.9
	対照ハウス	11.6	54.3	941	797	4.0	6.0
	有意性	ns	ns	ns	ns	ns	ns
つる下げ	外+内張空気膜ハウス	25.0	70.5	958	860	4.3	6.0
	対照ハウス	22.8	63.1	961	865	4.4	6.1
	有意性	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注)有意性: ns 有意差なし(t検定による)

総合考察

冬春キュウリにおいて外張りまたは内張りのいずれかを空気膜で被覆した場合には30%前後の燃料削減効果が確認された。この削減率は、他の同様な報告(2), (3)における削減率とも概ね一致している。さらに、外張り、内張り双方を空気膜で被覆した場合には50%前後にまで高まることも明らかになった。ただし、これらの燃料削減率は夜温の設定温度、栽培地域の外気温、栽培施設の形状や規模等の条件によって異なることが考えられる。

試験2において、内張り側面及び妻面への被覆資材の追加によって燃料削減率は高まったが、これは単棟ハウスを用いた試験によるものであり、ハウスの全表面積に対する側面及び妻面の面積の割合が単棟ハウスより小さい連棟ハウスでは、削減率向上に対する効果は小さくなることも考えられる。また、空気膜内への送風を間欠方式にすることで連続送風よりも燃料削減率は高まった。連続方式では空気膜内へ常にハウス内の暖かい空気が送り込まれるため、空気膜外側フィルムの内外で温度差が大きく、このためフィルム表面からの放熱が大きい。一方、間欠方式ではその放熱が少なく、このような違いに

よって燃料削減率は向上したと推察される。

空気膜導入に際してのイニシャルコストは、外張り空気膜の場合、10a当り564千円、内張り空気膜は10a当り377千円(ただし、供試した内張り空気膜は試作品のため、250円/m²と見込んだ)と試算された。概算(4)は試験3の結果から、外張り、内張り双方に空気膜を導入して、冬春キュウリ栽培を行った時の経営試算を行い、重油価格86.5円/ℓ(平成19~20年の平均単価)の時の農業所得における導入メリットは196千円/10aで、空気膜導入に際しての損益分岐となる重油単価は46.1円/ℓであることを報告している。今後、空気膜の普及を推進するためには、資材自体のコストダウンや耐用年数の延長等によって経費をより削減する必要があると考えられる。また、県内のキュウリやトマト産地では多くの栽培施設が硬質フィルムハウスであるため、外張りへの空気膜の導入は難しく、内張りへの利用が主体となると予想されるが、このためには様々な内張りカーテンの開閉方式(スライド式、巻き取り式等)に応じた内張り空気膜の製品開発が望まれる。

試験1および試験3の結果から、外張りに空気膜を用いた場合、慣行の一重フィルム被覆と比較して①太陽光

線の透過量は10%程度低下するが、②日中の気温は高く推移しやすい(低温期で2℃程度)、③保温性の向上に伴って夜間湿度は上昇する等のハウス内環境における特性を持つことが確認された。

空気膜被覆による作物への影響についてはいくつかの研究が行われており、トルコギキョウでは生育や切り花品質には影響が見られなかった⁵⁾こと、ハウレンソウに対してはハウス内気温の上昇により増収した²⁾こと、スプレーギクでは生育の促進、切り花重が増加したが照度低下により花色(赤)が薄くなった⁶⁾ことが報告されている。岩崎²⁾はハウレンソウを用いた試験において空気膜被覆が増収効果を示した原因は、ハウレンソウの生育に対して、ハウス内の気温上昇によるプラスの影響が光線透過量の低下によるマイナスの影響を上回ったためとしている。本研究のいずれの試験においても、キュウリの収量や品質に対して空気膜被覆による影響が認められなかったのは、このプラスの影響とマイナスの影響がほぼ同等であったためと考えられる。

空気伝染性の病害は、その発病に好適な湿度条件から炭そ病、べと病、さび病等の好湿性病害とうどんこ病等の嫌湿性病害に分けられる⁶⁾。本研究においては確認されなかったが、空気膜を導入したハウスでは暖房機の稼働時間の短縮に伴う夜間湿度の上昇により、これらの好湿性病害が発生しやすくなる懸念がある。また、多くの害虫は作物が正常に生育できる温度範囲ならば、温度が高い方が生育は早く、発生量も多い傾向がある。このため、空気膜の導入によって害虫の発生時期が早まったり、多発しやすくなることも考えられる。

このような空気膜被覆による収量、品質および病害虫発生等への影響は、作目ばかりでなく、品種や作型によっても異なる可能性がある。従って、空気膜の導入に際しては、燃料削減効果のみを重視するのではなく、栽培作物への功罪両面の影響も考慮に入れ、総合的にその是非を判断すべきであろう。本研究において対象とした抑制及び半促成作型のキュウリでは、空気膜被覆によって収量、品質および病害虫発生にほとんど影響が認められなかったことから、新たに必要となる資材の経費によるコストアップと燃料削減によるコストダウンとの比較のみで導入を決定すれば良いことになる。

今回のかつてない程の急激な原油価格高騰という緊急事態に対応するため、多くの研究がなされ、一定の成果が得られている。その後、原油価格が下降したこともあり、施設園芸という産業そのものが成立しなくなるという窮地は、現在脱したかのように思われる。しかし、原油価格の今後の動向は全く不透明である。環境への負荷軽減、即ち省資源の観点からもこの分野の研究は今後ま

すますます重要性が高まるであろう。

謝 辞

本研究の実施に当たり、東罐興産株式会社の植野構造氏(退職)には空気膜の試作、貴重な助言等、多大な協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 板木利隆(1983) 施設園芸・装置と栽培技術. 84 - 85
- 2) 岩崎泰永(2008) 空気膜二重被覆により30%の省エネ・節油効果がある. 農林水産研究技術ジャーナル 31(8): 16 - 20
- 3) 宮本賢二・鈴木尚俊・小野佳枝・由井秀紀・山本宗輝(2007) 空気膜ハウスの特性把握とトルコギキョウの生育開花に及ぼす影響. 園学研6別1: 237
- 4) 糝谷斉・水谷憲・山端直人(2009) 作目別省エネ対策技術の経営評価. 「東海地域における原油価格高騰対応施設園芸技術の開発」成果発表会資料: 46 - 49
- 5) 山形敦子・間藤正美・佐藤孝夫(2009) 空気膜二重被覆資材がスプレーギクの切り花品質へ及ぼす影響. 園学研8別2: 555
- 6) (社)日本施設園芸協会(2003) 五訂版・施設園芸ハンドブック. 419 - 423

ABSTRACT

In order to reduce the influence of the crude oil remarkable rise for horticulture farmers, the energy-saving effect of air-layer cover, which was filled with the air between two pieces of films, and the yield and quality of cucumber were examined.

About 30% fuel consumption for heating was reduced in the case of either (outer or inner) air-layer cover and approximately 50% was cut in the case of both covers in retarding and semi-forcing culture.

Although the temperature and relative humidity at night were higher than custom ones and although the transmissivity of sunbeams was lower in the air-layer covering greenhouse, no difference was recognized in the yield and quality of cucumbers in both cases.

KEYWORDS

Crude oil remarkable rise, Saving-energy, Air-layer cover, Cucumber cultivation in greenhouses during cold seasons