施設園芸¹⁾

阿部 定 夫*

農林省園芸試験場**

I 施設園芸の現況

施設園芸というのは新語で、この場合の施設とは一般に温室、プラスチック・ハウスなど気象条件を調節する栽培施設を指している。温室ブドウのように雨除けの目的に利用することもあるが、おもに気温を高めて促成、

表 1 わが国における作物別、被覆様式別の施設栽培面積 (1962)

被覆様式	そ 菜	花 き	果 樹	計
	ha	ha	ha	ha
ハウスガラス	133	169	97	399
塩化ビニール	3,056	255	60	3,371
ポリエチレン	347	11	—	358
紙	0.2	0.0	—	0.3
そ の 他	6	2	0.0	9
計	3,542	437	157	4,136
フレーム育苗用	2,156	65	—	2,221
促成用	357	94	—	451
トンネル ¹⁾	22,334	187	—	22,521

1) 数字は圃場全面積を指す。

表 2 ヨーロッパにおけるガラス栽培面積

国 名	年 次	ガ ラ ス 栽 培 面 積				温室面積	フレーム面積
		そ 菜	花 き	そ の 他	計		
		ha	ha	ha	ha	ha	ha
フィンランド	1960	135.4 ¹⁾			186.3	154.6	31.7
スエーデン	1951				620.9	365.7	255.2
ノルウェー	1959	105.3 ¹⁾			203.2	155.0	48.2
デンマーク	1960	184.5 ²⁾				359.0	
イギリス	1960	1,013.4 ²⁾	335.5 ²⁾		1,702.2	1,531.0	
オランダ	1962	4,471	615	442	5,528		
ベルギー	1961	471	206	591 ⁴⁾	1,268		
スイス	1955	68.6 ¹⁾	114.9 ¹⁾		202.0	70.5	131.5
イタリア	1960/61		531.7				
西ドイツ	1961	745.9	1,400.3	38.3	2,184.5	1,246.0	938.5

1) 温室栽培延面積 2) 温室のみ 3) イングランド、ウェールズのみ 4) うち 531ha は果樹

* Sadao ABE: Horticulture under Glass and Plastics in Japan.

** Horticultural Research Station, Ministry of Agriculture, Hiratsuka.

1) 平塚集会における講演 (1965 年 10 月 28 日)

抑制栽培などに用いるものである。わが国では江戸時代の「むろ」に始まったが、明治時代に温室が作られ、昭和に入ってから急増し、戦後プラスチック・フィルムの出現によって施設園芸はいちじるしく発達した。わが国の施設園芸の現況は表 1 の通りで、施設とはいえないかも知れないがプラスチック・フィルムによるトンネルがもっとも多く、これについてはビニール・ハウスであり、温室はその 1/10 強にしかすぎない。ハウスが温室にとって代わったようにみえるが、温室自身はふえており、トンネルの一部がハウスに代わったといえることができる。

世界の温室面積は約 19,000 ha といわれ、ヨーロッパにその半分以上が集中しており、ことにオランダに多く、世界の温室面積の 1/4 を占めている (表 2)。この表にはないがフランスには 500 ha の温室があり、南仏にその中心がある。ヨーロッパの温室地帯は、気候的にオランダ、イギリス、西ドイツなどの中・西欧と、南仏、イタリアなどの南欧の 2 群に分けられる。近年プラスチックの施設の利用がふえているが、南仏、イタリア、スペインなど南欧にその中心がある。アメリカの温室はペンシルバニア、イリノイなど西北部に中心があるが、

ここでも最近バージニア, ジョージアなど大西洋岸の中, 南部にプラスチックの栽培施設が発達し, わが国をしのぐ約5,000 ha のハウスがある. このように気候寒冷な地方には温室が, 温暖な地方にはプラスチック・ハウスが発達している.

図 1 主要温室地帯 4 地点における月別平均気温

II 施設園芸と気候条件

中, 西欧の温室地帯の中心であるオランダについて, アムステルダムをみると, 図 1 に示すように 1 月の平均気温が 3.1°C, 7 月は 17.9°C で夏期冷涼であり, イギリス, 西ドイツもほぼ同じである. 南欧の場合をニースにとってみると, 1 月は 8.3°C, 7 月, 8 月は 22.6°C で冬期はいちじるしく温暖である. アメリカの温室地帯の 1 つボストンでは 7 月が 22.4°C でニースに近いが, 2 月は -1.9°C とかなり寒冷である. わが国の施設園芸は関東以西の太平洋岸に多いが, その中心地の 1 つ浜松についてみると, 1 月の平均気温は 4.9°C で南欧の温室地帯よりかなり低いが, 8 月は 25.9°C といちじるしく高温である. 中, 西欧の温室は構造がよく, 暖房されて周年的に利用されるが, その生産はむしろ夏期中心であり, 南欧の温室は構造が簡単で, 無暖房であるが冬期中心である.

わが国は南欧型に近いが夏期はさらに高温で, 施設の夏期利用に適していない. たとえば, メロンや熱帯性の花き以外には夏の適作がなく, 長期栽培するカーネーション (1 年) やバラ (3~5 年) では高温のため生育がかなり阻害される. その反面冬期は比較的温暖なため, 暖地ならば無暖房の施設でも栽培可能であるが, 施設内の温度条件は作物の栽培に対して限界に近い低さになり, 気象条件に大きく左右され, とくに寒波による被害

表 3 温室, ハウス, トンネルにおける主要野菜の栽培面積比 (1962~63)

種 類	温 室	ハ ウ ス	トンネル
	%	%	%
ト マ ト	14	28	17
キ ウ リ	15	44	19
メ ロ ン	68	2	—
そ の 他	3	26	64

がみられる. また台風の常襲地帯であることも特徴の 1 つといえる. ここでは, 環境調節の立場からわが国の施設園芸のおもな問題点について述べる.

III 温室とハウス

温室は固定施設であり, 周年利用を建前とし, ビニール・ハウスは前述のようにトンネルから発達したものでともと移動施設であって, 少々収穫を早めたり (半促成), 遅らせたり (抑制) する程度に用いられてきた. 温室の主作物は種々の花き, 野菜ではメロン, 果樹では温室ブドウであり (表 1, 3), トマト, キウリなどでは暖房による冬期生産が行なわれる. ハウスの作物はその 85% が野菜であり (表 1), その 72% はトマトとキウリである (表 3). ハウスの生産物は温室ものより価格が安い, ハウスの建設費も安く (温室の 1/10~1/5), 経営的に有利なため今日のように普及した. ところが, 最近労力不足と木材などの値上がりから鉄骨を主材としたハウスがふえ, 固定施設化されるようになり, 冬期を含めて周年利用が考えられるようになって, 温室の性格に近づいてきた. ハウスがこのように周年利用に適した施設であるかどうかについて, 検討する必要がある.

施設内の気温上昇の理論については内島 (1964) の研究があるが, 気温上昇について施設の被覆材料や構造と関係のある要因としては, 純放射, 放熱比, 膜を通しての総括熱伝達係数, 空気交換による熱伝達係数などが挙げられ, 前 2 者はそれが大きいほど, 後 2 者は小さいほど室内の気温差は大きくなるという. 膜を透過する純放射は, 可視域についてはガラスもビニールも大きな差がない (図 2). 放熱比 (R) は熱源面積/放熱面

図 2 ポリカーボネート (パンライト) ビニールならびにガラスの分光透過率 (帝人プラスチック研究所)

積で前者は床面積, 後者は膜面積にあたる. 一般に $R < 1$ で, ハウスの高さの低いほど, 温室型のものよりもトンネル型の方が, また単棟よりも連棟の方が R は大となり, 放熱が少なく, 棟高の低いトンネル型を基礎として連棟にしたものが多い現在のハウスでは, 一般に温室より R が大きいとみられる. 膜を通しての総括熱伝達係数については, 内島の計算によれば厚さ 2mm のガラスでは

$2.40 \times 10^{-4} \text{ ly/sec. } ^\circ\text{C}$, 0.2 mm のビニールでは $2.45 \times 10^{-4} \text{ ly/sec. } ^\circ\text{C}$ でほとんど差がない。熱伝導率はビニールの方が小さいが、膜がうすいため差があらわれないのである。つぎに空気交換による熱伝達係数は、ハウスの毎時換気回数 (N) によって大きく支配される。図 3 に

図 3 温室による気温上昇と換気量との関係 (内島 1964) 矢印上の数は温室体積で測った 1 時間当りの換気量。

よれば、 $N=1$ の場合と $N=4$ の場合には室温にいちじるしい開きがみられる。以上のように、現在主用されているビニール・フィルムの光学的ならびに熱的性質はガラスとあまり変わらないが、栽培試験の結果でもそうになっている。MASSEY ら (1962) は同じ構造のハウスにガラスとポリエチレン (可視域の透過率はビニールとほとんど差がない) とを張り、暖房とファン換気で同じ室温に調節し、そ菜 3 種の栽培を行なったところ、表 4 の

ように収量に差が認められなかった。

施設の換気は室温の調節の有効な手段であり、保温には N の小さいほど、室温を下げるにはそれが大きいほど有利である。園芸試験場で窓を閉じたハウスの N について調べた野村ら (1965) のデータ (表 5) によれば、アルビーム型のハウスで $3.1 \sim 4.1$ 、ハマプラス型で $5.3 \sim 5.5$ であった。温室の場合については調査がないが、アメリカでは通常 $2 \sim 3$ とされている。窓を開いた場合については、天窓面積の小さいアルビーム型のは N が小さくなっている。換気窓のあるビニール・ハウスでも、構造の関係で温室とくらべて開放時の換気量が少なく、密閉時には気密に保たれにくいということが、一部で経験的にいわれている。低温性 (多くは最高 $20^\circ \sim 25^\circ\text{C}$ で栽培される) で品質の重視される花きの栽培に温室が選ばれ、ビニールを利用する場合には冬期のみ被覆するケースが多いというのは、後述の光線の透過のわるくなることともに、このことが理由であるかもしれない。これらの点について今後よく検討することが必要であるが、ハウスの換気に適したファン換気についても試験することが望ましい。

ビニール・フィルムには可朔剤が含まれているため表面が汚れやすく、古くなるといちじるしく光線の透過率がわるくなる (図 4)。この点で、最近では薄い ($0.05 \sim 0.075 \text{ mm}$) フィルムで早く更新するようになった。またビニール・フィルムは引っ張りに対してよわく (表 6)、台風などの強風を受けたとき切れやすい。以上述べたよ

表 4 ガラスならびにポリエチレン被覆下におけるタマチシャ、ピーマンならびにトマト 25 株のポット当りの収量 (MASSEY ら 1962)

作物	ハウスの被覆材料	収 量 (g)				
		1956	1957	1958	1959	1960
タマチシャ	ガラス	242.8	116.5	199.3	187.4	
	ポリエチレン	116.5	123.1	248.1	188.2	
ピーマン	ガラス	828.4	589.6	804.2	1,113.1	
	ポリエチレン	864.4	374.9	787.2	1,347.8	
トマト	ガラス	3,280.2	799.3	2,840.9	1,117.1	3,604.8
	ポリエチレン	3,139.5	922.7	2,276.8	1,492.6	3,491.5

表 5 ビニール・ハウスにおける換気回数 (野村・村本・小川 1963)

窓の開閉	ハウスのタイプ	測定開始時の気 温 ($^\circ\text{C}$)		測定終了時の気 温 ($^\circ\text{C}$)		風 速 m/s	天 候	換気回数 (N) 回/h
		室 外	室 内	室 外	室 内			
窓を閉じたとき	ハマプラス (1 回目)	10.3	18.5	9.5	16.2	1.3~4.7	曇	5.5
	" (2 回目)	9.5	16.2	9.0	14.7	1.9~4.3	"	5.3
	アルビーム	—	—	8.4	13.5	2.3~4.9	"	3.1~ 4.1
窓を開いたとき	ハマプラス	—	—	8.7	10.5	2.8~5.5	"	47.5
	アルビーム	—	—	8.3	10.5	1.8~4.5	"	14.4~20.4

表 6 各種プラスチック・フィルムのおもな物性

項 目	単 位	ポリカーボネート	塩化ビニール	無可塑塩ビ	低密度 ポリエチレン
厚 さ	mm	0.03~0.05	0.03~0.2	0.02~0.03	0.03~0.1
比 重	—	1.20	1.20~1.4	1.4~1.5	0.91~0.93
引張り強さ	kg/cm ²	850	200~500	500~700	100~200
破断伸び	%	60~150	10~300	10~40	150~650
引裂き強さ (初期)	kg/cm (エルメドルフ)	5	40~80	4~7	30~100
衝撃強さ	1kg-cm	>70	—	<6.5	<2.7
熱伝導率	10 ⁻⁴ cal/sec/cm ² /°C	4.6	3~4	3~4	8

(産業工芸試験所, 三菱樹脂, 帝人プラスチック研究所)

うに、ビニール・フィルムは光学的ならびに熱的性質はガラスにあまり劣らないが、汚れやすく強風によわいという点が長期利用施設の場合に問題となる。

最近ビニール・フィルムのもつ前記のような欠点を改良した被覆材が登場してきた。フィルムとしてはポリカーボネートや無可塑

表 7 プラスチック・プレートならびに板ガラスのおもな物性

項 目	単 位	ガラス繊維強化 ポリエステル板 (ファイロン)	塩 び 板	板 ガ ラ ス
厚 さ	mm	1.0	1.0	1.9
比 重	—	1.0	1.5	2.5
ヤング率	kg/mm ²	1,100~1,300	250~420	7,200~7,700
圧縮強さ	kg/mm ²	25~28	5.5~9.0	60~120
曲げ強さ	kg/mm ²	15~20	7~10	4.5~8.5
耐 衝 撃	1kg-cm	400	100	—*
熱伝導率	kcal/mhr°C	0.09	0.14	0.50

* 数cm

(日東紡)

ビニールでありプレートとしてはガラス繊維強化ポリエステルである。いずれも汚れにくい、前2者は引き裂きによわい(表6)。ガラス繊維強化ポリエステル板は衝撃や曲げに対してつよく(表7)、強度のわりに軽く、簡単な骨組みで曲線に屋根をふくことができる。フィル

ムと異なって材料自身強風に耐えるが、施設とした場合風圧を問題にせねばならず、骨組みにどの程度の構造強度をもたせるべきか検討する必要があるし、現在はガラスより割高(2mm ガラスの2~4.5倍、3mm ガラスの1.2~1.8倍)なので、耐久性、ことに使用にともなう透過率の低下についても検討が必要だろう。

プラスチック・ハウスは固定施設化するようになって、土壌中の塩類集積、土壌伝染性病害などによる連作障害が問題になってきた。移動式のハウスではこの問題が少ないので、固定式のままで連作障害回避をはかるか、移動式にすべきか、これも多くの角度から検討されるべきである。移動式にすることについては、解体、組立容易な性能のよいハウスの開発の問題を含んでいる。

IV 保温について

施設が暖房される場合もそうだが、とくに無暖房の場合には夜間の保温が大きい問題となる。一般には膜面からの放熱を少なくするために、断熱効果のあるコモを用いている。コモをかけた場合とかけない場合の温度差は3°C程度であるが、コモの上にビニールをしいて空気交換を断つとそれが7°C以上になる(図5)。近年は、ハウスのなかにトンネルを設けたり、ハウスの上部の空間に夜間のみプラスチック・フィルムを張ることが行なわれている。これら内部の被覆には、従来ポリエチレン・フィルムが用いられてきたが、杉山(1965)がポリエチ

図 4 被覆栽培に使用中および洗浄後のビニールの分光透過率分布(箕原ら 1965) 八戸市園芸指導所にて調査。

図5 夜間被覆による放熱防止効果および放熱比との関係 (市村 1962)

レンとビニールのトンネルについて実測したところ 0.1 mm のフィルムでは平均最低気温で 0.6°C, 0.05 mm のフィルムでは 0.9°C ポリエチレンの場合の方が低かった。いずれにしても、保温には熱源である室内の地温をなるべく高めることが必要で、日中地面への放射を十分にするとともに、換気をおさえて気温を上げることが効果的であるが、このためしばしば作物に高温障害を招いている。また、効果の大きい保温方法ほど労力的であるのも問題である。矢吹ら (1961) によれば、地中に入った熱の約 50% は地中で横方向に伝導逸散するので、施設の壁の地中での断熱についても検討する必要があるだろう。

宮川 (1964) は温室の表面に特殊な断熱層を設けたベレット・ハウスというのを開発した。これは、ガラスの外面に 9cm の空間を保たせてビニールを張り、そこに発泡スチロールの丸い粒 (ふくらみ倍率 100 かさ比重 8.5g/l, 直径 10~3mm) を送風機で送り込み、充てんしたり落したりするもので、保温効果が非常に大きく、図 6 のように室内外の温度差は 15°C 前後に達した。

図6 ベレット・ハウス内外の最低温度差と外気最低温度との関係 (宮川 1965)

V 暖房について

施設の暖房については 2 つの考え方がある。1 つは無暖房の施設で作物を寒波からまもる応急処置的なもの、1 つは冬期の生産を行なうために暖房によって適温を保

つものである。前者については 1962~1963 年の寒波以来いわゆる簡易暖房機の登場をみた。最近、冬期生産を目的とした施設の暖房化がさかんになり、簡易暖房機から発達した温風式のやや大型の暖房機がそれにとり入れられつつある。温風暖房は、在来の温水暖房とくらべて室内の温度分布ことに垂直分布においてむらができやすく、地面に近い部分の温度が上りにくい。温風暖房機の多くは煙突により排気し、炉の外壁に送風して熱交換により温風を送る形式であるが、簡易暖房機のなかには LP ガスを利用する場合のように直接バーナーで燃焼させるものがあり、不完全燃焼のためガス害を起こしている例もある。

施設の暖房としては一般に温水暖房が採用されているが、欧米で普及している床土の蒸気殺菌も行なうには蒸気暖房あるいは耐圧ボイラーによる温水暖房の採用が望ましく、専用ボイラーの開発が期待される。暖房を行なう場合、所要熱量の決定には経験的要素も加味した多くの計算式が提案されている。施設の熱収支の理論については研究が進んできたが実際場面では複雑な要因が関与するので、今後の研究にまたねばならない。一定の発熱を行なう暖房機で施設を加温し、実際の熱収支を調べて所要熱量を求めるようなことは考えられないか。

VI 温室の冷房

夏期における温室の利用率を高めるには、室温を下げるのが前提である。室温を下げる方法としては、古くからヨシズが利用されてきた。これは室内への入射量を減少させる意味である程度の効果はあるが、同化作用をもさまたげるので、日中の高温時にのみ被覆するが労力がかかる。CANHAM (1965) は緑色の色素 (Solivap Green) の溶液を温室のガラス面に流して薄い被覆を作り、この流れを室温と連動させる方式を開発したが、この 0.2% の溶液で太陽放射の 54% を吸収することができた。ガラス自体を加工したものも建築用に開発されているが、熱線吸収ガラスは熱線吸収率が高く、普通ガラスの 10% に対して 40~60% に達する。しかし可視域の透過率は普通ガラスの 90% に対して 70~80% と低くなっている。西ドイツでは、部分的にアセタール化したポリビニール・アルコールと水加塩との高次化合物の箔状体を処理したガラス (Thermax) が開発された。この箔状体は光線の透過性が温度および照度の影響によって変わるもので、ガラスはある一定の温度ならびに照度におかされると白濁してスリ硝子状になるものである。白濁したときには、ガラスを通しての入射は 40% になる。

気化冷却法は、以上の入射を抑制する方法にくらべて、入射を制限することなくかなりいちじるしい冷却効果が

図 7 冷房方法と温室内の平均気温ならびに平均湿度との関係 (CARPENTER 1957) (8月の21日間)

上げられる。温室の冷房については、わが国では矢吹 (1964) がミスト・アンド・ファン方式を、米村 (1965) がファン・アンド・パッド方式を実際に試みて効果を上げている。アメリカではこの2方式が用いられているが、CARPENTER (1957) がこれらを比較したところ、ミスト方式の方が冷却効果のすぐれていることがわかった

(図7)。しかし、ミスト方式では室内の湿度が非常に高くなる。ミストの噴射される近くの作物がつねに濡れるということも問題になる。気化冷却法では湿度の低いほどその効果が大きいので、多湿なわが国でも効率のよい冷房方式の開発が望まれる。

文 献

- (1) CANHAM, A. E. 1965 Automatic glasshouse shading. Tech. Communications of Int. Soc. Hort. Sci. 2: 71-76.
- (2) CARPENTER, W. J. 1957 Some comparative results with greenhouse cooling systems. Flo. Rev. CXXI, 3153: 41-42, 96-99.
- (3) 市村一男 1962 ビニールハウスの保温理論・松原茂樹編ビニール栽培の理論と実際: 27-43.
- (4) MASSEY, P. H. Jr., MARSHALL, MCNEIL and GRAY, R. W. 1962 Research report on plastic greenhouses. Virginia Agr. Exp. Sta. Res. Rept. 63.
- (5) 篋原善和・高梨成行・江口庸雄・高橋文次郎・米田和夫 1965 被覆栽培下の諸環境と生育反応に関する研究・第2報 被覆栽培に使用中、および洗滌後のビニール、ポリエチレンの分光透過率分布について。農電研究所報告 65014.
- (6) 宮川逸平 1965 ベレットハウスの保温性について。農電研究所会議用資料 143.
- (7) 野村豪・村本至・小川公治 1965 ビニールハウスの換気量測定試験報告 (日本軽量鉄骨園芸施設研究会資料)。
- (8) 杉山直儀 1965 農ビフィルムの物理性。農業ビニール協会 農ビシリーズ 22.
- (9) 内島善兵衛 1964 技術者のための農業気象学講座 (7)。農業技術 19: 390-395.
- (10) 矢吹万寿 1964 噴霧冷却方式によるガラス室冷房設計。生物環境調節 2(1): 14-20.
- (11) 矢吹万寿, 今津正 1961 ガラス室の熱制御に関する研究。(第1報) 植栽のない密閉したガラス室の熱収支について。園芸学会雑誌 30: 171-177.
- (12) 米村浩次 1965 温室冷房の考えかたと営利生産むきの設備。農耕と園芸 20(7): 67-68.