

省エネルギー下の施設園芸の方向

誌名	農林水産技術研究ジャーナル
ISSN	03879240
著者	山崎, 肯哉
巻/号	3巻3号
掲載ページ	p. 26-29
発行年月	1980年3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



《省エネルギー下の施設園芸の方向》

山崎 肯 哉*

◎ 第1は太陽エネルギーの活用

作物の生育生産は水、養分代謝エネルギーとして、基本的には太陽エネルギーによっていることは周知の通りである。

太陽エネルギーは光として地球に到達して植物は光合成に、あらゆる物体は熱として吸収する。

この到達太陽エネルギー量は快晴の冬季、南中時の静岡で4万ルクス $0.7 \text{ ly/min} = 0.7 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min} = 420 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$ 、(夏季南中時はこの約2倍)である。晴天はこの88%、薄曇り56%、本曇り52%、雨天26%とみられている。また南中時が最大だが、日の出、日の入り時は最小で $0.1 \sim 0.2 \text{ ly/min}$ ぐらいである。1日単位はこれら ly/min を合計して、全日照量と呼び $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{day}$ であらわされている。わが国の大平洋側各地の冬期間に月150~180時間の日照時間のあるところが施設園芸地帯となっているが、その1日1 m^2 当りの日射エネルギーは1,500~2,400平均して $2,555 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$ とみられている。この日射エネルギーは波長によって利用され方が違う。太陽光は3ミクロン以下の波長で到着するが、光合成や光週性に使われる波長域は0.3~0.8ミクロンの波長域で、例えばトマトのこれらに使われる光エネルギーは平均して2万ルクス以上で $1.6 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$ とみられている。これを前記到達日射全エネルギーと比較すると0.8%に過ぎないが、これなくては育たないし、これを電灯などで照明しようとする2万ルクス以上の条件で膨大なエネルギーを必要とする。ただし光週性には10ルクス以上あればよいとされており、イチゴの休眠回避や菊の開花抑制に電灯照明が利用されている。

熱として物体に吸収される前記のはぼ2,000 $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{day}$ のエネルギーは例えば施設ハウス内で新し

いものでも15% (古いビニールでは30%前後) は反射し、85%が透光してハウス内の土壌や植物体、その他の物体に吸収され、4ミクロン以上の波長に代って伝導蓄熱される。一方空気は対流して、この熱を奪ってハウス内気温を上昇させる。

岡山大の瀬尾氏(1962)が1月晴天日の高知県の二重トンネル弧かけキュウリ栽培ハウスにおけるこの熱収支をみている。それによると前記85%の透光エネルギーの中39%は土中伝導し、その地温を深さ別に外地温より第1表のように高めていることを明らかにしている。

第1表 ハウス内と外の地温の深さ別比較
(瀬尾氏図示を表示した)

土層深さ	10cm		30cm		60cm	
	昼	夜	昼	夜	昼	夜
中央	22℃	15℃	17℃	16℃	16℃	17℃
ハウス内 地温側部	21	16	12	13	13	14
外地温	12	7	9	9	9	11

この表で熱の伝導方向が二つあって、表層は昼夜の温度差が5~7℃と大きく、夜間ハウス内に放熱して気温の冷えを補っている。一方30~60cm深さでは昼夜の差は少く逆に夜温が1℃高くなっていて、中央から側部→外地温に伝導している。しかしこのハウス内地温は外地温に比較すると中央で7~8℃側部で3~4℃高い、これは長い間(通常被覆後3週間前後)の累積蓄熱の結果とみられている。

瀬尾氏の計算ではこの39%土壌伝導熱の中、前者地表蓄熱夜間放熱量は23%、後者の地中蓄熱は16%となって第1表の地温を示している。

次にハウス内に入った85%から前記39%を差引いた46%の行くえは、主として日中ハウス内の空気の対流で被覆物を通して外へ、そして大部分はハウス

*元東京教育大学教授

内気温を高め、密閉状態では30~40℃となる。通常これを換気して外に逃して25℃前後の適温に保っているわけである。

以上のことから①ハウス内の太陽エネルギーは熱源としても、平均して2,000kcal/m².dayの85%これは重油にして200ml/m².day(1ℓ10,000kcal,熱効率85%として)に相当し、10a当り1晩にドラムかん1本200ℓたくに等しい熱量である。

土壌は大きな蓄熱体で夜間の保温に役立つ上に、地温を作物の適温に近づけるに役立っている。重油計算で10a当り92ℓに相当する。

問題は対流空気にとられる46%の熱量で、夜間までには全部放熱され、昼間高温時に大部分を換気している熱量で、重油計算では10a当りで108ℓに相当する。この熱量を少しでも地中蓄熱に利用しようとするのが太陽熱の地中熱交換方式である。筆者は既往3年間の実用化試験から、上記46%の中の10~16%は換気放熱を余議なくされるが残りの30~36%を地中熱交換して、一つは30~60cm深さの地温をさらに4~5℃高め(20℃前後となる)今一つは夜間放熱保温力をも4~5℃高められることを実証している。これらの熱量は合計して600~720kcal/m².dayであり、前記重油10a当りの計算で70~85ℓに相当する。

本方式には有圧ファン(a当り200wat)と地中深さ30~40cmに、直径10cm前後の薄肉のプラスチックパイプを50cm間隔に埋設貫通して、中央胴溝から左右に開口して、前記ファンで日中前記同時エネルギー46%の温気を地中に強制循環して、蓄熱し、その冷気でハウス内気温を低下させ、夜間は逆にハウス内冷気を地中で暖めて、保温に役立てようとするものである。

なお本方式では埋設パイプが多く、その循環風量の多いほど蓄熱量が多くなるが、電力も伴うことであり、検討の結果上記したものが最も経済的とみられている。

さらに本方式の特長は少くとも入射エネルギーの85%の中、植物体が繁茂すればするほど受光体が植物体となって、土壌伝導エネルギーが減るわけであるが、その場合でも空気対流を通して地中蓄熱をより増加させることができることである。また、ファン作動中はハウス内に40cm/sec程度の微風がふき、昼間は光合成を助け、夜間は葉上結露を抑えて病害発生を抑えてくれる。

定植当時の幼植物の畦間の受光面を利用し、シル

バ反射面上に黒色ポリダクトに水を入れて保温源とすることが行われている。1m²当り水量が30ℓあると日中30℃ぐらいの温水となり夜間10℃まで放熱すると600kcal/m²であり、先の重油計算で10a当り約70ℓに相当し、前記有圧ファンによる地中熱交換量にも比適する。

◎ 第2は断熱構造の工夫

(1) 透明二重張りの断熱構造

施設ハウスに透明フィルムを二重に張ってその二重空間20cm内外を気密にして、中の空気の対流が起らないようにしておくこと、熱の伝導がさげられて、放熱が著しく少くなる。いわば透明の断熱構造である。

空間の幅は実用的には20cm前後となるが、この幅が狭くて空気が少いほど断熱効果も小さくなる。

また一重張りの場合、外冷気が吹き、その風速の大きいほど、ハウス内気温が冷えるのであるが、この二重の断熱構造ではこの風速に影響されない利点がある。

この二重の断熱効果は、空間層の厚さ、気密度、外気温の程度などによって差があるが、その貫流熱効率率は2~3kcal/m²,hr,℃で一重張りの4~5kcal/m²,hr,℃に比して4~5割であり、4~5℃保温力が大となる。

ペレットハウスはこの空間に発泡スチロールの小粒(ペレット)を夜間吸き込んで断熱するのであるが、この場合の熱貫流効率は空間5cmで0.9、10cmで0.6kcal/m²,hr,℃で、一重張りに比して15~9%の熱が奪われないですみ、10~12℃も保温力を高めてくれる。このペレットの代りに筆者はシルバーポリをこの空間に夜間被覆する方法をとったところ、二重張りより2~3℃保温力があり、おそらくその熱貫流効率は1~1.5kcal/m²,hr,℃であろうとみている。

問題は二重張りにすると透過光量、ひいては蓄熱量も少くなるのではないかという心配である。これは外張りを0.1mm厚みでほこり附着の少ないフィルムを、内張りを0.05mm厚みで水滴のつきがたい専用フィルムを張ると、一重張りとの透光率の差は5%程度で、1~6ヶ月と露光期間が長くなるとともに透光率は落ちるが、その落ち方は二重張りの方が一重張りより少なく、かえってよくなるとも言われている。この固定的な二重張りは実は昼間も必要

で、一重張りでは、屋間も外気温が低く、相当貫流放熱するので、蓄熱効果が著しく違い、かつハウス内気温の均一性も二重張りがよくなる。なおこれは筆者の経験的な工夫であるが、外張りのサイドに肩換気をつけ、これから外冷気を入れ、これを内張りの天井換気に導くとハウス内の温気と熱交換されて、直接外冷気の入らない熱交換換気ができ、湿度の調節と炭酸ガス富化にも役立つことである。

冬季は日の出とともに密閉状態のハウス内の気温が上昇し、作物の葉の気孔も開き、蒸散も盛んとなりだんだん多湿となると、それにつれて根からの養水分吸収もだんだん衰えてくる。一方光合成に使われる炭酸ガス濃度も低下して、光合成作用も衰えてくる。これは病菌増殖の好条件となる。この際新鮮な外気を換気したいのであるが、冬季早朝の外温は0~5℃と冷たいので、これを直接換気すると局部的に寒害をうける。これに対して前述の二重張り利用の熱交換換気で早朝から換気してやると、この寒害の恐れもなく、加えて炭酸ガス欠乏対策にもなり、さらに湿度も60~70%に低下調節することができる。筆者の経験ではこれで病害は著しく軽減されているとみている。

なおこの熱交換換気は午前中で打ち切り午後は始めて密閉して蓄積を計っているが、前述の地中熱交換方式で大体28℃、湿度80%となり、夜間は100%近くの湿度となるが、微風があるので葉上結露は少く、逆に溢液現象を盛んにして、いわゆるトマトの尻ぐされ、イチゴの異常花の原因となるCa、Bの成長点部への移動を助けて、これらの生理障害も軽減してくれているとみている。このことの実験的な裏付けはCaについてはアイソトープを用いてアメリカのパルキシルらが証明している。

(2) ハウス地温の断熱構造

第1表でもわかるように30~60cm深さの地温は昼夜の差なく一定で中央部が高く、側部から外地温に熱の移動が行われている。この熱量を最小限にするには側部地中を断熱構造とする必要がある。通常側部に30~50cmの溝を掘り水の入らないよう古ビニールなどを利用して10cm厚みにモミガラ或は発泡スチロールくずなどを断熱材として入れる。このことに関連してハウス構造そのものも一定面積に対して、この側壁部の最も少ない形は正方形なので、例えば100㎡のハウスも10m四方であれば周囲は40mだが、25m×4mだと周囲は58mとなり、側部からの

放熱が2割5分も多くなることとなる。

◎ 第3は水の経済も考えよう

水田地帯のハウスでは地下水位が高く、むしろ排水に留意して灌水は最小限に抑える程度となるが、畑地帯で灌水に水道水や井戸水を使う時には、大体10a当り毎日3tぐらいの吸水蒸発散でハウスに失われ、これを補わねばならぬこととなる。これは年間約1,000tの水量となる。ところでわが国の各地の雨量は平均して2,000mmであり、10a当りにすると2,000tとなり、ハウス消費量の2倍の雨量がハウスの屋根に降っていることになる。

これをハウスの周囲にビニール溝を作り、できれば排水パイプを逆利用して、これを地下灌漑できるようにし、必要に応じ、肥料を液肥として混入すれば、施肥と灌水がかねられることとなる。筆者の200㎡のハウスでは本年これを設置したところなのでデータはないが、いざ干魃時のことも考えると、相当な水の経済になると考えている。

◎ 若干の論議

(1) 施設園芸生産は食生活に欠かせない

施設園芸のお蔭で国民1人1日当り、今日では野菜350g、果物150gがほぼ平均して周年新鮮供給されている。そして食生活の栄養源として必要なビタミンCの91%、A60%、B₁21%、B₂25%、ミネラルカルシウムの22%、たんぱく質の9%の供給源となっている。もしこれが不足すると、かつて科学技術庁が行った食生活の改善調査で指摘しているように戦後世界の四大病→心臓病、肝硬変、脳卒中、胃がんなど直接的でなくとも間接的に多発の原因となる恐れが大きい。この供給を強いて施設生産しなくとも適地からの輸送あるいは露地の生産物を冷凍、加工貯蔵しておけばよいのではないかの意見もある。なるほど施設生産のため総エネルギーは露地生産のそれより遙かに多いが、これを遠距離輸送エネルギーあるいは冷凍、加工、貯蔵に必要なエネルギーを単位生産物当りに計算すると、むしろ後者の保蔵・流通総エネルギーの方が施設生産より多くかかっているのが実態である。昨年酷暑時のソ連の施設園芸を視察したが、日本の5倍もの燃料消費をしながらも貴重な新鮮野菜を何をおいても生産しようとする意気込みをひしひしと感じた。国民もそれを要求しているようで、高いのに結構売れているようであった。

(2) 施設園芸生産物供給の偏在

全国主要都市町村の青果公設市場統計でみると新鮮野菜特に施設園芸生産物が十大都市に集中しており、中小都市への人口割一人一日当たりでみると半分ぐらいしかない。これは施設園芸が輸送園芸地帯に主として発達したためとみられる。この解消には中小都市近郊の施設園芸の拡大を図ることにある。その必要面積は果菜(キュウリ、トマト、ピーマン)だけでも約2割増の2,200haの増設を必要とする。筆者は計算している。

(3) 施設園芸は農家経営に欠かせない

農林統計によると、わが国の約500万の農家の61%は大なり小なり施設園芸を営んで、農家経営のプラスとなっている。これらの中約20万戸は10a以上の複合的専業農家であり、1戸50a前後が適正規模で、現在の野菜全生産の40%余はこれら専業農家の2,200ha余の施設ハウスで生産されている。この施設ハウス面積全部が燃料を消費しているわけではなく、約58%は無加温栽培である。これらの数字からも、わが国の農家経営に施設園芸は欠かせないものとなっていることがわかる。

(4) 施設園芸は安定多収の道となっている

作物がよく育ち、良品多収には、強風、強雨を避け、病害虫から隔離し、光、温度、湿度、炭酸ガス、風速などの気象環境を調節し、水分、肥料、土性などの土壌環境を改良する必要がある。施設園芸は露地栽培に比較すると遙かに、これらの整備、調節、改良を合理化することである。かくして現に施設園芸の主作物であるキュウリ、トマト、ピーマン、イチゴ、ミツバなどの単位面積当りの収量は露地作の3~5倍に達している。しかも必要とする肥

料、農薬は半分以下で足りている。

問題は連作障害であり、その対応策に耐病性台木の接木栽培は大きな効果を示している。さらには最近養液による水耕栽培技術の向上も大きく、一局面をひらきつつある。筆者は最近水面に根を浮かせる簡易な水耕法を工夫している。

(5) わが国の施設園芸立地は恵まれている

わが国の施設園芸はわずか20数年で、世界一の規模となるほどに伸びたのはプラスチック被覆の出現と、新鮮青果物への国民的需要が大きかったこともあるが、同時にその立地環境に恵まれていることをあげねばならない。その第1条件はわが国のすべてと言ってよい農家が水田を持ち、その裏作に施設園芸を手がけることができたことである。中でも冬暖かく、日照の豊富な東海、西南沿岸地帯が最も恵まれ、次いで冬寒くとも日照の豊富な関東、東北、北海道の大平洋沿岸地域であり、いずれも越冬促成栽培ができる。一方冬季積雪寒冷の日本海側も春から夏の豊富な日照下で半促成、高冷地を含めて夏秋季の豊富な日照は越夏抑制栽培をハウス屋根かけ栽培として最近著しく普及をみている。

以上いずれも月間日照時数が150時間を越える期間が4ヶ月以上続くことが大事な条件となっている。この条件で最も恵まれているのは富士山頂で一年を通じて毎月200時間以上の日照があり、遠く昭和基地も9~3月の7ヶ月は毎月150時以上、特に12~1月は毎月400時間を越えている。これを前述の熱エネルギーとして蓄熱保温に利用できるよう透明被覆と防風、防凍の施設ができれば新鮮な青果物自給の施設園芸がこれらの地でも可能と思われる。

(やまざき・こうや)

農林水産技術会議事務局編

戦後農業技術発達史(続)第1巻 水田作編

A5判 上製689頁・実費頒布6,000円 千200円

既刊「戦後農業技術発達史」に引きつづき昭和40年以降における我国稲作技術の展開過程を専門家40氏の執筆により、各専門別・地域別に技術解析した大作。大学、研究機関、官庁、農協、図書館等に必須の活用書。