

潜熱蓄熱方式による施設暖房の実用化に

関する研究 (第1報)

低融点蓄熱材を用いた装置の暖房性能, 温度特性および
蓄熱材の熱特性について

佐々木皓二・高橋 基・板木 利隆

K. SASAKI, M. TAKASHI, and T. ITAGI

Studies on the heating of greenhouse by the latent heat energy storage materials.

Heating efficiency, thermal condition in greenhouse and thermal properties of the low melting point storage materials.

I 緒 言

地中熱交換方式の暖房性能は内外気温差 $13\sim 15^{\circ}\text{C}$ を保持し, 石油節減効果はトマトで $80\sim 100\%$ を達成できた。また, 慣行の暖房方式に比べて経済性がすぐれ, 長年月にわたる利用が可能であるなどの利点(1, 2, 3)が評価され, 1983年現在本県では約50戸, 5.2haの普及実績をみている。しかし, 本方式は施設下の土壌を蓄熱体とするため, 地下水位の高いところや既設の養液栽培施設など立地条件や施設内部の形態によっては施工が困難な場面が考えられる。従って, 太陽熱利用暖房の適用範囲を広げるためには, 装置を地上部に設置でき, 蓄熱槽はできるだけ小型化した新たなパッシングタイプの暖房方式の開発が望まれる。

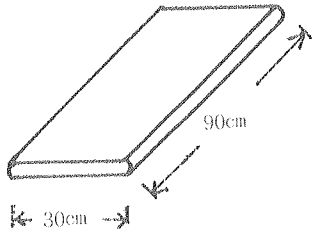
これらのことから考えると, 高倉ら(5)が小型温室で研究を進め, 高い暖房効果を得ている潜熱蓄熱方式が有望と想定されたので, その実用化試験に着手した。本方式の原理は, 蓄熱材が相変化(固体 \rightleftharpoons 液体)する際に, 一定時間継続する融点温度を利用するものである。すな

わち日中暖められた室内空気により蓄熱材を融解させ(蓄熱作用)夜間は凝固する時に熱を取り出す(放熱作用)仕組みで, とともに室内空気と熱交換させることにより融点に近い温度の熱が得られる。

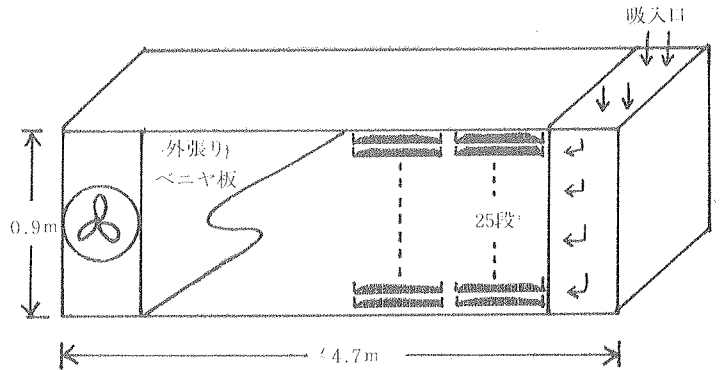
本試験は1981年から開始し, 初年度の予備試験の結果については先に報告した(4)が, 塩化カルシウム6水塩を基材とし, 融点が 27°C で直径の大きい容器に封入した蓄熱材を用いた場合には, 室温だけではほとんど融解せず目的とした暖房効果は得られなかった。しかし, 少量供試した融点が 20°C で容器を平板状にした塩化カルシウム6水塩の蓄熱材ではほぼ完全に融解させることが可能なことを認めた。

本試験では, その後新たに開発された硫酸ナトリウム10水塩を基材とした低融点の蓄熱材を用い, 暖房性能・蓄熱材の熱特性および室内の気象特性とトマトの生育について調査を行った。その結果, 実用化に対する見通しが得られたのでここにその成績を報告する。

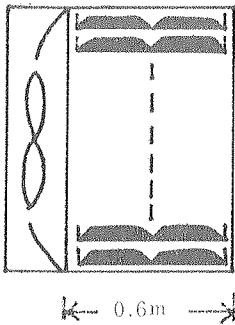
本試験を行うにあたり松下技研K. K. 竹田武司博士および町田育彦研究員の多大な協力を得た。ここに深く感謝の意を表する。



第1図 蓄熱材封入容器の構造



第2図 蓄熱槽の構造(正面図)



第3図 蓄熱槽の構造(側面図)

II 材料および方法

1. 蓄熱材および蓄熱槽の構造

供試蓄熱材は硫酸ナトリウム10水塩 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) を基材とし、融点は 22°C である。その融解潜熱は 40cal g^{-1} (56cal g cm^{-3}) である。蓄熱材はアルミラミネートポリフィルムに封入されており、その容器の形状は第1図に示した。蓄熱槽の構造は第2～3図のとおりで、容器を2枚横に並べて1段とし、空気流路として1.7cmの間隔をあけ、これを4列、25段に積み重ね、外側をベニヤ板で覆った。熱交換ファンは200V、400Wの右圧ファンを1基取り付け、その反対側に吸入口を設けた。この蓄熱槽を温室内に二基設置した。蓄熱材の総重量は2,500kgである。蓄熱材の量は、既往の暖房試験(2)の成績から一晩の暖房負荷を $10^5\text{kcal } 330\text{m}^{-2}$ として求めた。

2. 運転方法および温度管理

日中の蓄熱開始温度は 22°C とし、暖房設定温度は第1表に示したような変温管理を採用し、前夜半二段階は日射比例制御とした。なお、装置の性能を判断して1月14

第1表 暖房設定温度

時 間	設定温度
17.00 ~ 20.00	12°C
20.00 ~ 23.00	11
23.00 ~ 5.00	8
5.00 ~ 8.00	10

日以降早朝の 10°C は 8°C に変更した。日中は室温 28°C で天窓換気を行い、これらの制御にはマイコンを用いた。

3. 供試施設および作物

供試施設は床面積 352 m^2 、保温比0.63のフェンロー型ガラス室で、保温カーテンは天井を二層被覆(塩ビ+不織布)とし、サイドは一層被覆(塩ビ)とした。また、補助暖房機は用いなかった。

供試作物はトマト(品種‘瑞秀’他)を用い、9月16日には種し、10月22日に定植した。

4. 温度、湿度、日射量の測定および蓄熱、放熱量の算出

温度の測定は、室内中央部、蓄熱槽吸入口、吹出口、蓄熱材3点(吸入口部分、槽中央部、吹出口部分)および屋外気温について行った。これらの温度測定には熱電対式および測温抵抗式自記温度計を用いた。

相対湿度は室内中央部において、露点計により測定した露点温度と室内気温から求めた。

日射量は屋外の全天日射について測定した。

蓄熱量および放熱量は、風量、空気比熱、蓄熱槽吸入口と吹出口との温度差およびファン作動時間との積から算出した。

III 成 績

1. 循環風量

ファン吹出口の風速を計測し、循環風量を求めたところ $150\text{ m}^3\text{ min}^{-1}$ ($75\text{ m}^3\text{ min}^{-1} \times 2$)であった。この値から蓄熱槽内を通過する空気の風速は 4.9 m sec^{-1} と推定された。

2. 暖房性能・温度特性

第2表に室内外の時間帯別最低気温および内外気温差を示した。この表には示さなかったが前夜半(17時~23時)の時間帯はカーテンの被覆条件の違いにかかわらず暖房設定温度を確実に保持し、それ以下になることはなかった。8℃設定時間帯(23時~5時)においてはカーテン二層被覆においてはもとより、一層被覆条件においても設定温度をほぼ維持し、それ以下になったのは期間中2日間だけで、しかも0.5℃下回った程度であり、極めて高い暖房性能を示した。しかし、早朝の10℃設定時間帯(5時~8時)では、カーテン二層被覆でも屋外気温が早い時間から低下して放熱量が増大すると設定温度の保持が困難となり、それより0.5~4.5℃下回り、一層被覆では最低4.5℃(1月3~4日)を記録した。このため1月14日以降この時間帯の設定温度を10℃から8℃に変更したが、その結果、前日蓄熱不足であった1日(1月22~23日)を除き、カーテン一層被覆でも設定温

度を保持することが可能になった。内外気温差はカーテン二層被覆では最大15℃、一層被覆では13℃を得た。

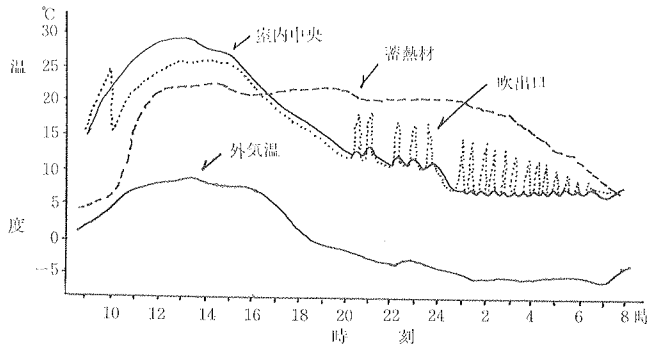
第4図は晴天日における温室内各位置の温度経時変化を示した例である。朝方9時~9時30分に強制的に天窗を開けて換気したので、ファンは10時頃から蓄熱運転を開始し、15時~16時に停止した。ファンの作動時間は1~2月で最大6時間であった。ファンの作動開始当初、前日の放熱により蓄熱材の温度が低下している場合、蓄熱槽吸入口と吹出口との温度差は約10℃あるが、蓄熱材温度の上昇とともにその差は次第に接近して3~5℃となり、停止時では1℃以内であった。蓄熱時、室温と蓄熱材融点との温度差は最大6~7℃を確保でき、蓄熱材温度も吸入口付近では23~24℃まで上昇し、ファン停止時点では触感で融解を確認できた。

夜間は、室温が暖房設定温度まで降下すると、ファンはON-OFFをくり返し、朝方1~3時間は連続運転となる場合が多かった。蓄熱槽から得られる温風の温度は蓄熱材より3~4℃低く、前夜半は16~20℃、後夜半は10~16℃であった。吸入口と吹出口との温度差は5~9℃あり、熱交換の効率は高いと判断された。蓄熱材の温度は放熱に伴って次第に低下し、朝方は室温とほぼ同一になって完全に放熱している場合が多かった。

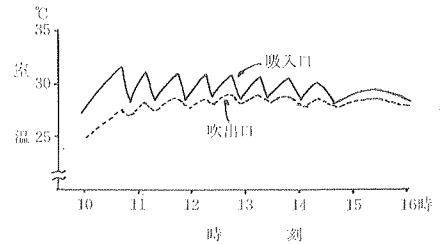
第3表は蓄熱および放熱過程における温室内外気温と蓄熱材の位置別温度を示した例である。運転開始1時間

第2表 時間帯別最低外気温、室温および内外気温差

カーテン被覆	月 日	23~5時		同 左		同 左		5~8時		同 左		同 左	
		最外	最低	設定	定温	内	外	最外	最低	設定	定温	内	外
	月 日	℃		℃		℃		℃		℃		℃	
二層	1. 10~11	-6.0	8.0	8.5	14.5	-6.5	10.0	7.5	14.0				
	11~12	-4.5	〃	8.5	13.0	-4.6	〃	8.5	13.1				
	14~15	-4.0	〃	8.5	12.5	-4.5	〃	9.5	14.0				
	21~22	-3.5	〃	8.5	12.0	-5.5	8.0	8.5	14.0				
	22~23	-7.7	〃	7.5	15.2	-8.5	〃	4.5	13.0				
	23~24	-5.3	〃	8.5	13.8	-5.5	〃	7.5	13.0				
	24~25	-4.5	〃	8.5	13.0	-4.6	〃	8.5	13.1				
一層	1. 3~4	-4.2	8.0	7.5	11.7	-5.2	10.0	4.5	11.7				
	4~5	-1.3	〃	8.5	9.8	0.2	〃	10.0	9.8				
	16~17	-3.5	〃	8.5	12.0	-4.0	8.0	8.5	12.5				
	26~27	-3.0	〃	8.5	11.5	-3.5	〃	9.0	12.5				
	28~29	-2.5	〃	8.5	11.0	-3.0	〃	8.5	11.5				
	2. 5~6	-2.5	〃	9.0	11.5	-3.0	〃	8.5	11.5				
	10~11	-4.0	〃	9.0	13.0	-3.5	〃	9.5	13.0				
	13~14	-6.0	〃	9.0	15.0	-5.5	〃	8.0	13.5				



第4図 室内各位置の温度経時変化



第5図 天窓の開閉と吸入口、吹出口温度変化

後の11時には、蓄熱槽入口付近の蓄熱材の温度は融点に近い20℃まで上昇しているが、吹出口付近では17℃でありその差は3℃であった。また停止直前の14時においても吸入口付近の蓄熱材温度は融点を越えているが、吹出口付近では融点温度にとどまっておき、このことから吸入口から離れるに従い、蓄熱材の融解程度は低下するものとの推測された。夜間の放熱時においても吹出口付近の蓄熱材の温度降下が早く、日中の融解の不完全さを示している。

第5図は日中の天窓閉鎖および開放状態における吸入口、吹出口の温度変化を示した例である。ファン作動時天窓が開くとファンは外気を吸入して蓄熱槽入口近辺の気温は急速に低下し、吹出口との温度差は接近している。天窓開度が大きい場合には吹出口温度の方が吸入口より高くなる放熱現象が認められ、蓄熱作用の大きな阻害要因となった。

曇雨天日のような低日射日は蓄熱不足が問題となるが第6図に示したように、このような日は外気温があまり低下せず、放射冷却現象がないので暖房負荷が小さくなり、それまでの蓄熱量によりカーテン二層被覆ではもとより一層被覆においてもほとんどの日で設定温度は保持できた。しかし、第2表の1月22～23日の例のように、日中曇天であっても夜間晴れて屋外気温が著しく低下する場合があります、このような時は放熱量が不足して設定温度の保持が困難となった。このような日は期間中2日間認められた。

3. 蓄熱量および放熱量

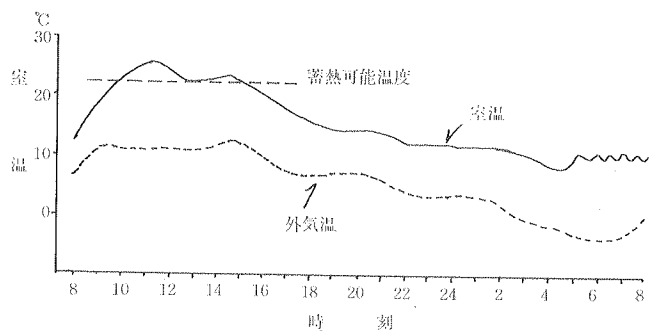
1～2月における1日の蓄熱量および放熱量を第4表に示した。この場合の蓄熱、

第3表 蓄熱および放熱過程における温度状態

位 置	1月24日		1月25日	
	11時	14時	2時	6時
外 気 温	7.3	12.5	-3.5	-4.7
室 内 中 央	26.0	28.0	8.0	8.0
槽 入 口 (A)	25.5	27.0	7.0	7.0
*蓄 熱 材 ①	20.0	23.3	20.8	17.0
〃 ②	19.0	22.5	20.5	17.0
〃 ③	17.0	22.1	19.4	15.1
槽 出 口 (B)	19.5	22.5	16.0	13.5
(A) - (B)	6.0	4.5	9.0	6.5

* ①:槽吸入口付近 ②:中央部 ③:槽吹出口付近

放熱量は蓄熱材の顕熱と潜熱交換量とを明確に区分できないので両者の合計量となる。また、熱交換の際、蓄熱材容器表面に凝縮した蒸発する水分については高精度に測定できなかったため、その潜熱量は明らかでなかつた。



第6図 低日射日における室温、外気温経時変化

第4表 蓄熱量および放熱量

月 日	A	対蓄熱 可能量 比	B	対蓄熱 可能量 比	B/A
	蓄熱量 ×10 ³ kcal	%	放熱量 ×10 ³ kcal	%	
1. 20~21	25.50	25.5	29.16	29.2	1.14
23~24	66.40	66.4	47.35	47.4	0.71
24~25	65.52	65.5	43.82	43.8	0.67
26~27	58.57	58.6	43.20	43.2	0.74
2. 10~11	46.75	46.8	58.32	58.3	1.24
13~14	69.17	69.2	68.85	68.9	1.00
14~15	66.98	67.0	42.12	42.1	0.63
15~16	49.23	49.2	32.40	32.4	0.66
19~20	65.02	65.0	58.59	58.6	0.90
20~21	64.46	64.5	66.75	66.8	1.04
21~22	69.50	69.5	63.45	63.5	0.91

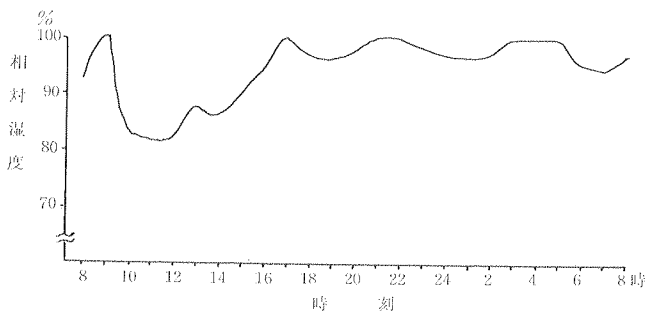
た。本装置の蓄熱可能量は 10⁵kcal であるが、実際に蓄熱できた量は晴天日において最大 6~7 × 10⁴kcalで、可能量の約60~70%にとどまり、装置の性能を十分發揮しているとは言えなかった。放熱量も同様に最大 5~7 × 10⁴kcalであった。放熱量が前日の蓄熱量よりも多い場合があるが、これはその日以前の蓄熱量が持ち越されたことを示している。

4. 室内相対湿度

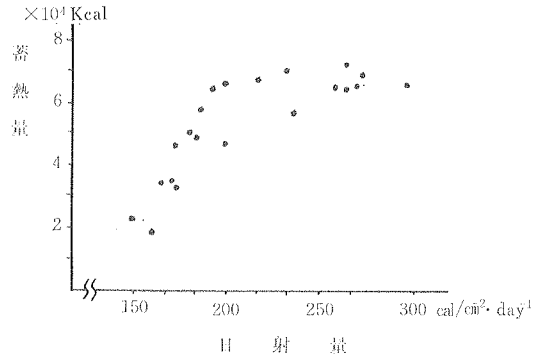
第7図に晴天日における室内の相対湿度変化の例を示した。この日は午後15分間程度天窓が開いただけであったので日中の相対湿度は80~85%と高く、また夜間は90~100%の範囲で推移した。朝方および夕方は室内に‘もや’の発生が認められた。

5. 日射量と蓄熱量

屋外の全天日射量と蓄熱量の関係を第8図に示した。



第7図 相対湿度変化 (1月23~24日)

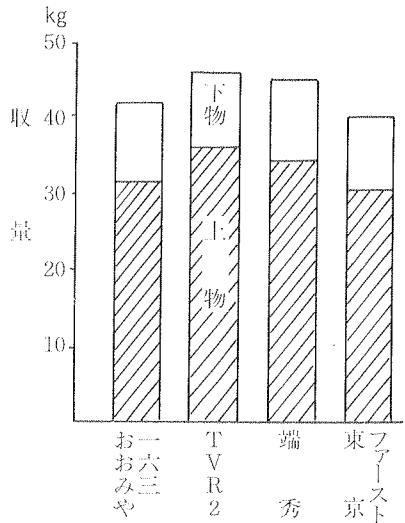


第8図 日射量と蓄熱量

日射量が 200 cal cm⁻²day⁻¹ までは蓄熱量はほぼ比例的に増加したが、日射量がそれ以上に増加しても換気量が多くなるため蓄熱量の増大は伴わなかった。

6. トマトの生育、収量

生育初期から中期にかけてトマトは順調な生育状態を示した。しかし、装置のダクトから吹き出す風があたる株は葉先が枯れ上がる症状を呈し、ダクト配置に工夫が必要と考えられた。トマトの収量は第9図に示したように第10果房までで株当たり 4~4.5 kg得られた。やや低収であったのは、日中若干高温管理であったことや、生育後期に土壌病害(根ぐされ萎凋症)が発生したことによると思われる。



第9図 トマトの収量 (10株当たり)

IV 考 察

潜熱蓄熱方式による施設暖房の実用化をはかるため、融点が22°Cの硫酸ナトリウム10水塩 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) を基材とする蓄熱材を用いた装置をガラス室内に設置し、暖房性能、蓄熱材の熱特性、室内気象特性およびトマトの生育反応について検討を行った。その結果をとりまとめて考察すると次のとおりである。

暖房性能は、暖房設定温度を11~12°Cとした前夜半(17時~23時)および8°Cの後夜半(23時~5時)では、設定温度をほぼ維持し、それを下回っても0.5°C程度であった。設定温度が10°Cの早朝時間帯(5時~8時)では、屋外気温が早い時間から低下し、放熱量が増大すると設定温度の保持が困難となり、0.5~5.5°Cの温度不足が認められた。このため、1月14日以降この時間帯の設定温度を10°Cから8°Cに変更したが、その結果設定温度を維持できるようになった。内外気温差は、カーテン二層被覆で最大15°C、一層被覆では30°Cとなり、この値は地中熱交換に相当する効果と言える。このような高い暖房性能が得られた要因を装置の面からみると次のとおりである。

本方式において夜間暖房熱量を得るためには、日中に蓄熱材を充分融解させておくことが前提であり、その融解程度すなわち蓄熱量によって放熱量が決まる。蓄熱材の融解を促進させるためには、日中高温を与えればよいわけであるが、内部集熱方式の場合、作物管理の面から制限され、トマトでは28~30°Cが限度であろう。従って蓄熱材の融解量を高めるためには、蓄熱材の融点、蓄熱材封入容器の形状および熱交換方法が重要なポイントとなる。本試験の前年に実施した予備試験の成績(4)では、塩化カルシウム6水塩を基材とし、融点が27°Cで径の大きい容器に封入した蓄熱材はほとんど融解せず目的とした暖房効果は得られなかった。同様に千葉農試(6)においても融点が27°Cで10cm径の容器に封入した蓄熱材を用いた試験では、蓄熱効果が低いため目標とした効果が得られず、温室用としては融点の低い蓄熱材を用いる必要があると述べている。

本試験に供試した蓄熱材の融点は22°Cであり、日中室温との温度差は最大6~7°Cを確保でき、蓄熱材の温度も位置による差はあるが22~24°Cまで上昇し、吸入口付近では手で触れることにより十分な融解を確認できた。このように、低融点の蓄熱材を用いたことが高い暖房性能を得た最大の要因と考えられ、更に蓄熱材の封入容器

が薄い(1.8cm)平板状であったことや、蓄熱槽は内部に均一な風が通る構造としたことも融解量を高めるために効果的であったと想定される。

しかし、蓄熱材の温度を蓄熱槽の位置別に調査した結果では、槽の吸入口から離れるに従い日中の温度上昇は遅れ、特に吹出口の付近は融点以上には上昇せず、また夜間はこの付近の温度降下が早かった。従って蓄熱材の融解は吸入口部分が最も進み、吹出口部分は不十分な勾配が生じていたものと推定され、装置の性能を充分発揮したとはいえなかった。晴天日に、本装置から得られた蓄熱量は最大でその能力の約70%であり、装置を更に改善すべき余地が残された。このことは、設定温度を保持できた日においても、蓄熱材温度は朝方には室温とほぼ同一にまで低下し、余剰熱量がほとんどなかった場合が多かったことからいえる。

装置を改善するために必要な検討内容としては、一基の蓄熱槽に収納する蓄熱材の量、蓄熱材の配置の仕方、通風方法などがあり、また融点を更に1~2°C低下させて融解を容易にすることも重要と考えられる。

本装置の蓄熱作用を阻害した大きな要因として天窓開放時の外気の吸入があった。日中ファン作動時、天窓が開くと外気が吸入されて、槽吸入口付近の気温が急速に低下し、天窓開度が大きい場合には吹出口気温の方が高くなる放熱現象さえ認められた。温室の屋根面に多くの天窓を持ち、また天窓面積が大きい(屋根面の25%)フェンロー型ガラス室の特異現象と考えられるが、効果的な外気吸入防止措置を講じ、蓄熱量の確保をはかることが今後の課題として残った。

放熱量—蓄熱量を1日単位で比較した場合、放熱量が前日の蓄熱量にまさる日が数日認められた。これは、当日以前の蓄熱量が後日に持ち越されたことによるものであり、本システムの蓄熱—放熱サイクルは1日単位に限られないことを示している。すなわち、当日の蓄熱量が少なくとも、それ以前の蓄熱があればそれがプラスされて暖房に寄与することになる。蓄熱槽の外側から自然放熱される量は極めて少ないと推測された。

太陽熱利用暖房では、曇雨天日のような低日射日は蓄熱不足が問題になるが、通常そのような日は屋外気温があまり低下せず放射冷却も少ないので暖房負荷は減少し、カーテン一層被覆でもほとんどの日で設定温度を保持し、地中熱交換方式の場合(2)と全く同様であった。しかし、日中曇天であっても夜間晴れて屋外気温が著しく低下した例があり、このような日は明らかに暖房熱量が不足し、設定温度を保持できなかった。太陽熱利用暖

房においては常にこのような気象条件を想定しなければならず、また屋外気温が異常に低下する場面も考えあわせるなら、実用化にあたっては必ず補助暖房機を備え、安全を期す必要がある。

室内の相対湿度は、晴天日で日中80～85%、夜間は95～100%となり、地中熱交換施設同様(2, 3)にやや多湿な状態で推移した。日中の蓄熱に伴う冷房効果により、換気回数が減少することに起因すると思われる。蓄熱量の減少は避けられないが午後はやや低め(25～26°C)の温度管理として、換気量を増す必要があると思われる。

日射量が $200\text{calcm}^{-2}\text{day}^{-1}$ まで増大すると蓄熱量もそれに伴って比例的に増加した。しかし、日射量がそれ以上に増しても蓄熱量の増加は認められなかった。日射量が増すと室温が上昇し換気量が多くなるため、特に本温室は先に述べたように換気時に外気が吸入されて蓄熱効果を著しく低下させ、蓄熱量の増加を阻害した大きな要因となっている。従って、外気の吸入を抑制すれば、日射量と蓄熱量の比例関係を更に高い値まで引き上げることが可能であろう。

トマトの生育は、初期から中期までは順調であった。しかし、ダクトから吹き出す風があたる株の葉先が枯れ上がる症状を呈し、ダクトを幾つかに分散させて風速を弱めるなどの対策が必要と思われた。生育中一後期に土壤病害(根ぐされ萎ちょう症)が発生し、収量は1株あたり4～4.5kgでやや低収であった。

V 摘 要

融点が22°Cの硫酸ナトリウム10水塩を基材とする蓄熱材を収納した装置をガラス室内に設置して、暖房性能、蓄熱材の熱特性、室内の気象特性およびトマトの生育反応について調査した。

1. 蓄熱材はアルミラミネートポリフィルムに封入されており、1個の重量は6.2kgである。これを0.9m×0.6m×4.7mの容積をもつボックス内に計200個収納し、200V、400Wのファンを一基取り付けて蓄熱槽とした。この蓄熱槽を床面積352m²のフェンロー型ガラス室に二基設置した。蓄熱材の総重量は2,500kg、蓄熱可能量は 10^5kcal である。

2. 暖房設定温度が11～12°Cの時間帯(17時～23時)および8°Cの時間帯(23時～5時)は、設定温度をほぼ

維持し、それを下回っても0.5°C程度であった。10°Cの時間帯(5時～8時)は設定温度の保持が困難な日が多く、途中設定温度を8°Cに変更したが、その結果設定温度を保持することができるようになった。

3. 内外気温差はカーテン二層被覆で最大15°C、一層被覆では13°Cであった。

4. 蓄熱槽内の吸入口～中央部の蓄熱材の融解量は高かったが、吹出口部分の融解は不十分と推測された。

5. 蓄熱量は最大 $6\sim7\times 10^4\text{kcal}$ で、装置の能力の60～70%であった。放熱量は最大 $5\sim7\times 10^4\text{kcal}$ であった。

6. 室内の相対湿度は日中80～85%、夜間95～100%で推移した。

7. 日射量が $200\text{calcm}^{-2}\text{day}^{-1}$ までは蓄熱量は比例的に増大したが、日射量がそれ以上に増大しても蓄熱量の増加は伴わなかった。

9. 吹出口からの風があたるトマトの葉先が枯れ上がる症状を示した。トマトの収量は1株あたり4～4.5kgであった。

引用文献

1. 佐々木皓二・板木利隆(1979). 地中熱交換方式による施設暖房の実用化に関する研究(第1報)ハウス内環境特性、熱収支およびトマトの生育・収量について 神奈川園試研報 26: 26～34.

2. ————・—————・高橋 基(1981). ———— (第3報)二層カーテンおよび複合環境制御方式を用いた場合の暖房特性について、同上 28: 39～49.

3. ————・—————・—————・金目武男・佐藤紀男(1982). ———— (第4報)現地大型施設における暖房性能、室内環境特性、トマトの生育収量および経済効果について 同上 29: 29～38.

4. ———— (1983). 潜熱蓄熱方式による施設暖房について、関東の農業気象 4: 2～4.

5. 高倉 直・仁科弘重(1980). 潜熱蓄熱グリーンハウス、施設農業への新エネルギー利用(太陽・風編)フジノテクノシステム 236～241.

6. 千葉農試(1982). 潜熱蓄熱暖房ハウスの省エネルギー効果の確認試験、千葉農試野菜試験成績書 292～303.

Summary

From 1982 to 1983, experiments were carried out to investigate heating efficiency, thermal properties of the heat storage material and growth and yield of tomato. The latent heat energy was made mainly from $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ and the melting point was 22°C .

1. The heat storage material of 6.2kg in weight was wrapped in a aluminium laminated plastic film bag ($2 \times 60 \times 90\text{cm}$) and 200 bags were set on the shelves in the heat storage box. At the end of the box an electric fan (200V, 400W) was attached. Two heat storage boxes were installed in the glasshouse of 352m^2 .

2. In daytime, two fans were operated to store heat when glasshouse temperature was above 22°C . At night, fans were operated to radiate heat when air temperature was below the set point (12°C for 17.00–21.00, 11°C for 21.00–23.00, 8°C for 23.00–5.00 and 10°C for 5.00–8.00). During 17.00–23.00, the temperature was certainly maintained above the set point, and during 23.00–5.00 it was kept except a few days. But during 5.00–8.00 the temperature could not be

maintained at the set point when outside air temperature declined extremely. Considering these facts, the point for the time was set to 8°C . After that, the temperature was kept above the set point.

3. When the double layer thermal screens were applied in the glasshouse, the maximum inside-outside air temperature difference was maintained at 15°C . When a layer screen was used the difference was 13°C .

4. It was considered that the storage materials at the drawing parts and center of the box melted almostly in daytime, but those near the blowing parts melted insufficiently.

5. Relative humidity in glasshouse was kept at 80–85% in daytime and 95–100% at night.

6. The amount of stored heat proportionally increased to solar radiation intensity to 200cal cm^{-2} day.

7. The top of the tomato leaves at the site near the point of blowing off withered slightly. Yield of a tomato plant was 4–4.5kg.