

地温低下による施設の夏期利用技術の確立

ヒートポンプ利用に関する研究

沖森 當 ・ 吉田 隆徳 ・ 長谷川繁樹 ・ 道下 数一*

要 約

沖森當・吉田隆徳・長谷川繁樹・道下数一(1982): 地温低下による施設の夏期利用技術の確立. ヒートポンプ利用に関する研究. 広島農試報告45: 79~104.

温室など施設の周年利用を図るためには, 夏期高温時の効率的な地温低下技術の確立が必要である。そこで, ヒートポンプの特性を利用した地温低下法と野菜の生育収量におよぼす影響について検討した。

地温低下は長尺パイプを地中に埋設し, ヒートポンプにより冷水循環するとパイプを中心に半径約5cm程度の狭域土壌の地温が低下した。土壌中は熱伝導が極めて遅いが, 交互循環法によると吸熱量が多くなり, 効率がよくなった。この場合, 循環サイクルは長間隔より短間隔の方が地温低下が大きかった。なお, マルチングによる遮光効果は黒ポリマルチよりシルバーマルチの効果が大きかった。

ヒートポンプの効率的な利用は, 蓄熱水槽を設けて連続運転をし, 二次側の施設内ペットへの冷水循環は日中に行い, 地温低下を図る方法がよかった。チラー型ヒートポンプ2.5kwの場合, 蓄熱水槽の容量を10m³にすることにより, 施設面積10aに適用できることを確認した。

地温低下が野菜の生育収量におよぼす影響についてはトマトは開花数, 開花時期には差がなかったが, 収量は個数, 重量ともに多くなった。ホウレンソウ, ワケギ, ミツバなどの軟弱野菜は生育がよく増収となった。

I 緒 言

広島県における施設栽培面積は昭和56年におよそ177ha, そのうち加温ハウスは約31.6haである。施設栽培は昭和48年と54年の石油危機を契機にして, 燃料費の値上りは著しく, 加温栽培は無加温栽培への大幅な作型転換が行われ, とくに都市近郊地帯において著しい。

筆者らは第1次オイルショック以前から本県の気候的特性からみて, 気象災害の比較的少ない有利性を生かすため, 周年的施設利用技術の確立を目標とした試験を実施してきた。

温室等施設の周年利用を図るためには, 夏期高温時の施設内温度低下技術を確立する必要がある, このため, ヒートポンプの持つ特性に着目して, 地温低下に利用して施設の夏期利用技術を確立することを目的とした。

ヒートポンプ**は住宅の冷暖房装置として開発された

ものであるが, 発熱効率や機器的な利用率の点から, 施設への利用に適しているものと判断した。すなわち, 熱移動の原理が化学力(フロンガス)と電動力(コンプレッサー)を組合せて, 入力エネルギー(電力量)より2~3倍の発熱量が期待できる点に特長がある。また, 機器的操作により加温と冷却の相反する熱エネルギーに変換が可能のため, 温室などの温度制御装置として1台2役的な利用が可能である。

現在, わが国で実用的な温室冷房法としては“パッド・アンド・ファン方式”^{9,12,21,25,30)}が採用され, また送風式冷房装置²²⁾, 細霧冷房法^{3,20,21,23,31,36)}の研究が行われている。一方, 高地温の制御については地下水利用^{4,27,32)}による地温低下法も試みられている。筆者らは予備的に実施したヒートポンプ利用試験により, 従来の暖房用地中加温パイプを利用して冷水循環することにより, 高温期の施設内地温を3~5℃低下させることが可能であるとの見通しを得た。これをもとに1973~76年の4か年間にわたり, 地温低下法の技術確立と地温低下による

*中国電力技術研究所

**第3回温室近代化研究会資料; 中国電力営業部 1974

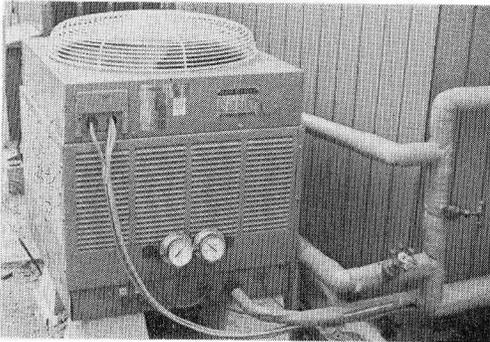


図1-1 試験に使用したヒートポンプ (G.E製2.26kw)

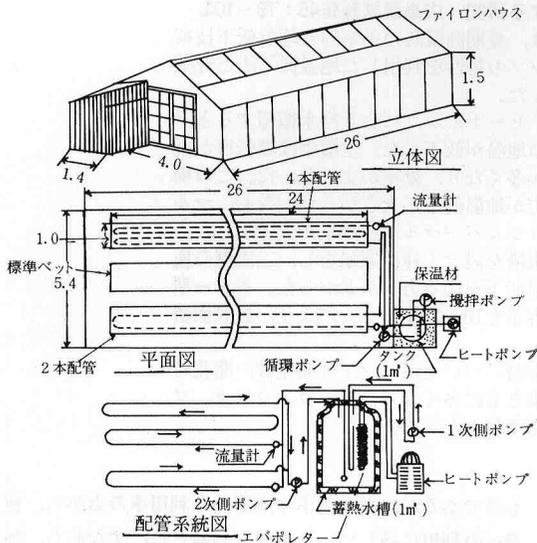


図1-2 試験ハウスと配管図

表1-1 試験区

配管本数	パイプ埋設深	循環水温	備考
0本			各区にそれぞれ裸地、シルバーポリトウ、黒ポリフィルム区を設けた
2	10cm	7℃	
4		10(30分交互) 12.6 15.0	

配管は内径20mm地中暖房用パイプをうね幅100cmに埋設

2~3の野菜の生育と収量におよぼす影響について試験を実施したので報告する。なお、本研究は総合助成研究課題として昭和49~51年に実施したものである。

II 冷水循環による地温低下特性ならびに効果 (試験1)

1. 試験方法

冷水循環により地温低下をはかるため、ファイロンハウス (140m²) を使用した。施設および装置の配置は図1-1, 1-2に示すようにハウス内に3ベツトを作り、ベツトの配管は両側を2本、4本配管とし、中央を標準区として無配管とした。パイプは地中暖房用パイプ (φ20mm黒色) を用い、埋設の深さは地表下10cmとした。

ヒートポンプは空調用 (G E 製2.26kw) を改造し、ウォータークーラー方式にしたものを使用した。すなわち、クーラーのエバポレーターを水槽 (1m³) の中に設置し、熱交換をよくするために循環ポンプ (0.2kw) で水槽内を攪拌する構造にした。水槽と地中循環パイプはφ40mmパイプで接続し、冷水は循環ポンプ (0.4kw) で吸引して循環し、各ベツトには流量計を取付けて流量調節を行った。

試験区は表1-1に示す通りである。温度は7月24日~27日にわたり調査した。測温はサーミスター記録温度計 (12点式) を3台使用し、ハウス内、外の気温およびベツト地温の日変化、さらに、タンク内の水温、循環パイプ入口、出口温度をそれぞれ測定した。また循環水量やヒートポンプの使用電力量、および土壌の三相分布、日射量などの測定を行い熱収支の計算に用いた。

2. 試験結果

1) ハウス内外の日射量

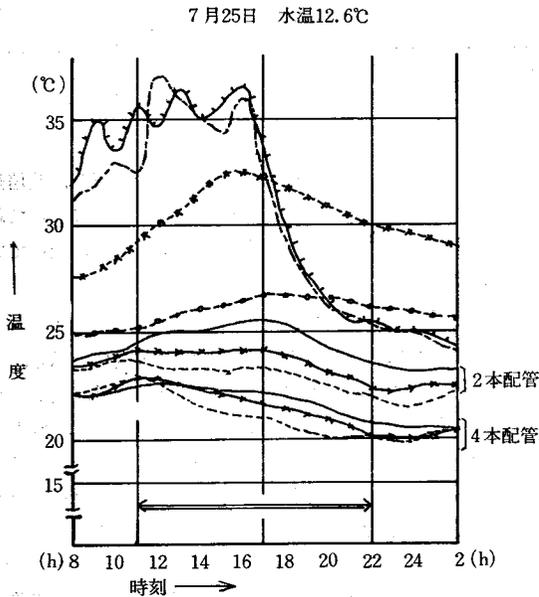
調査期間中におけるハウス内、外の日射量をロビッチ日射計を用いて測定した結果は表1-2のとおりである。この表から明らかなようにファイロンの経年変化による汚れのため、入射率は平均34~43%と低かった。また調査期間中は比較的曇りの日が多く、とくに7月26日の午前中は曇天であった。地温低下時間は日射による地温上昇から検討して11~17時としたので、冷水循環した時間中の日射量は7月25日が最も多く、ベツトの表面積1m²当り187kcal/hとなった。この値は裸地の数値であり、実際は作物繁茂による日陰により相当減少するものと推定される。

2) ハウス内気温

日射量の最も多かった7月25日の温度経過を示すと図1-3に見るように、外気温とほぼ平行的に経過しているが、外気温よりわずかに低目に経過する場合があった。

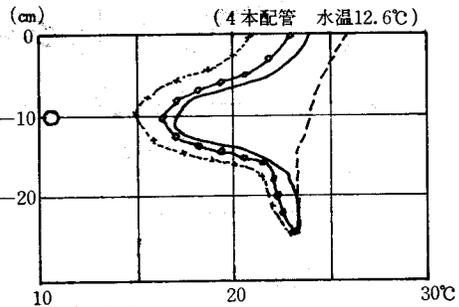
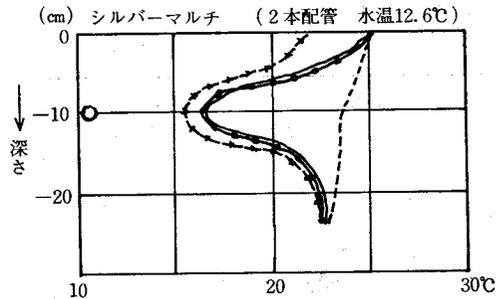
表1-2 試験期間中の日射量とハウス内、外の平均入射率（ロビッチ日射計）

区 別	積算日射量	7月24日	7月25日	7月26日	7月27日
全 日 射 量	露地5-19時 (1y/day)	—	481.6	277.8	358.6
	ハウス内 " (1y/day)	—	164.1	118.9	126.5
	平均入射率 (%)		34	43	35
冷却時間日射量	11~17時 (1y/day)	90.6	112.2	84.2	90.6
	単位日射量 (kcal/m ² h)	151.0	187.0	140.0	151.0



(注) 外気温—, ハウス内気温—, 外地温×---×
標準ベツト地温○---○, 裸地地温—, シルバーマルチ---
黒ポリマルチ×---×, 冷水循環←→

図1-3 冷水循環と地温の日変化 (1973)



(7月25日)
(注) 11時—, 14時—, 17時○—○
20時×---×, ○パイプ

図1-4 冷水循環と垂直温度分布 (1973)

表1-3 試験区の土壤熱容量 (kcal/0.15m³)

試験区	固相	液相	気相	計	備 考
標準	34.1	38.7	0.013	72.81	土壤の深さ15cm
2本配管	31.0	31.4	0.017	62.42	気相比熱 0.24 液相 " 1.0
4本配管	31.1	35.7	0.016	66.82	固相 " 0.2

表1-4 標準ベツトの土壤の昇温比率

月日	積算* 日射量 kcal/m ² 6h	土壤 昇温 °C/6h	熱容量 kcal/0.15 ³	昇温熱量 kcal/m ² 6h	昇温 比率 %
7.24	906.2	1.0	72.81	72.81	8.0
7.25	1.112.0	1.5	"	109.22	9.8
7.26	841.5	0.7	"	50.97	6.1
7.27	906.1	1.2	"	87.37	9.6

* 11~17時積算

表1-5 循環水温と土壌冷却効果 (11時~17時)

月日	循環水温	ベットの地温の昇温, 冷却						
		標準		2本配管		4本配管		
		裸地	裸地	黒ポリ	シルバー	裸地	黒ポリ	シルバー
7.24	15.0	25.2°C (+1.0)	24.3°C (-0.3)	23.9°C (-1.2)	23.8°C (-1.4)	22.4°C (-1.1)	22.6°C (-1.6)	23.0°C (-2.7)
7.25	12.6	25.2 (+1.5)	24.5 (-0.5)	24.1 (-1.6)	23.7 (-2.1)	22.4 (-1.9)	22.7 (-2.7)	22.8 (-3.3)
7.26	7.0	25.0 (+0.7)	23.9 (-1.4)	23.7 (-2.6)	21.9 (-4.1)	21.7 (-2.4)	21.7 (-3.4)	21.9 (-4.1)
7.27*	10.0	24.6 (+1.2)	24.0 (-0.6)	23.6 (-1.6)	22.9 (-1.6)	22.0 (-1.9)	21.8 (-2.1)	21.7 (-2.9)

(注) 地温は循環パイプから水平に10cm離れた位置, 地下10cmの深さ冷水循環開始前の温度。
() 内は冷却温度 * 交互循環

これはファイロンの汚れによる入射率の低下と, 栽培野菜(トマト)の蒸散潜熱取得による気温低下によって起ったものと考えられる。なお外気温より高温になっているのは換気扇の停止した場合である。

3) 循環水温差とマルチによる昇温防止

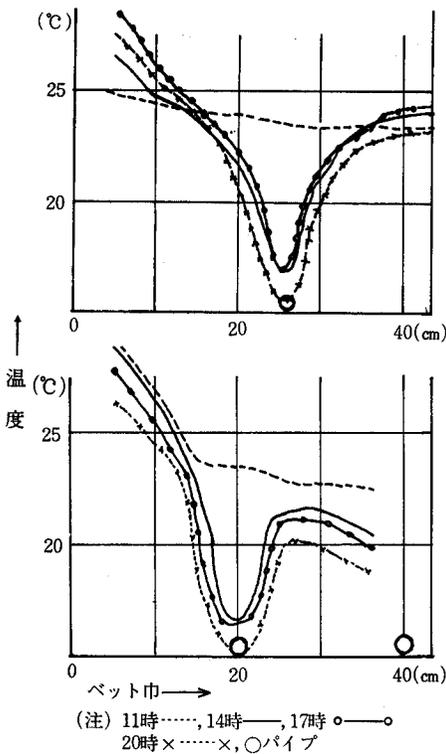
図1-3に冷水循環とベット地温の日変化を示し, 循環水温とマルチによるベット地温の冷却効果は表1-5に示した。地温は循環パイプの横10cmの位置で, 地表面下10cmを基準にしている。この表から明らかなように, 循環水温が低いほど地温低下は大きく, 特にマルチングで遮光すると地温低下が大きい。マルチの種類では当然のことながら黒ポリマルチより, シルバーマルチングの効果が大きかった。また, 交互循環法の場合は連続循環法に比較して地温低下の効果がやや劣ることが明らかになった。

4) 冷水循環による水平, 垂直地温分布

冷却パイプ2本配管と4本配管のシルバーマルチング区の水平, 垂直地温分布を図1-4, 5に示した。これらの図から2本配管, 4本配管ともに循環パイプを中心にした地温低下の範囲は半径5cm程度と非常に狭い範囲であった。とくに水平温度分布調査からベットの両側端が高温で中央部が低温となるため, 表層土壌域の地温分布も不均一になることが明らかとなった。

5) 地温低下の熱収支と使用電力量

地温低下を行ったベットの土壌熱容量を三相分布から表1-4に示した。積算日射量(表1-2)および標準ベットの温度上昇(表1-5)と土壌熱容量(表1-3)



上 シルバーマルチ 2本配管 (水温12.6°C)
下 " 4本配管

図1-5 冷水循環と水平温度分布 (1973)

から昇温比率を求めると表1-4のようになった。日射による土壌の温度上昇比率はおよそ6~10%程度と推定されるが、これは作物繁茂による日陰と地下15cmに土壌域を限定したため、裸地の比率15%と比較して小さい値であった。

蓄熱水槽の断熱性を調べるため、冷却水(10℃)の上昇温度を計測したところ、平均0.2~0.3℃/hとなった。これから求めた保温効果は77~80%と良好であることがわかった。一方、予冷時の水温冷却温度の平均約3.2℃/h(3,200kcal/h)と上記保温効率(80%)をもとにヒートポンプおよび循環ポンプの実測電力量2.58kw/h(2,218.8kcal/h)から成績係数を求めると1.53となった。循環冷却水の各温度毎の使用電力量を求めてみると表1-6のようになった。また、単位電力量と土壌冷却温度から単位土壌冷却に必要な電力量を求めると表1-7のようになった。すなわち、土壌温度を1℃降下させるための電力量は日射量により当然差があり、日射量の多かった7月25日に多くなった。裸地とマルチ区ではかなり差が認められ、特にシルバーの日射遮断による昇温防止効果が大きく、2本配管区と4本配管区では2本配管区が局部冷却面から経済的である。

3. 考 察

この試験はファイロンの汚れが大きく、従って、光線の入射量が平均34~43%と低いため、日射による地温の昇温比率は6~10%と低くなったものと思われる。特に栽培期間中は茎葉繁茂により地面に到達する光線量は著しく減少²⁾することが報告されている。本試験の場合は被覆物の汚れによる入射量の減少により地温上昇はかなり抑制されたものと思われる。

冷水循環による培地温の昇温防止効果については高田²²⁾、岡山農試²⁷⁾の試験によって効果が認められている。

表1-6 冷却水温と使用電力量

月日	冷却水温 ℃	冷却時間 時間	単位電力量 kw/h	運転率 %
7.24	15.0	11	2.14	73
7.25	12.6	11	2.98	102
7.26	7.0	7	4.32	147
7.27	10.0	11.5	2.27	78

- (注) 1) 水槽水の予冷電力量は18℃の水を基準に冷却能力3,200kcal/hで計算した。
 2) 施設電力は2.93kw(ヒートポンプ2.4kw, 1次ポンプ0.18kw, 2次ポンプ0.35kw)で算出した。
 3) 7℃の冷却時間が短いのは事故により、循環ポンプが停止したため。

本試験でもヒートポンプによる冷水循環により昇温防止効果は認められた。表1-7は循環用の冷水をつくるために必要な予冷電力量(一定水温に冷却するために必要とする電力量)とベットの冷却用の使用電力量(攪拌用循環ポンプも含む)および二次側循環ポンプ電力量を基に平均使用電力量を求めたものである。さらにベット冷却温度から土壌温度1℃低下させるための必要電力量を求め、どの方法が効果的かを検討した。これによるとシルバーマルチング4本配管区よりシルバーマルチング2本配管区の方が電力量も少く局部冷却効果がみられた。とくに、7月27日に行った冷水温度10℃を30分間隔で交互循環とした場合が最も経済的であった。ただこの方法は、循環パイプより10cm離れた位置の地温を基準にして試算しているので正確な数値ではないが、地中冷却方法の目安はついたと考える。

夏期の地温冷却は根群域の局部冷却で効果があるよう

表1-7 土 壌 冷 却 に 必 要 な 電 力 量

月日	循環水温 (℃)	単位電力量 (kw/h)	1℃土壌冷却するための電力量 (kwh)					
			2 本 配 管			4 本 配 管		
			裸 地	黒ポリ	シルバー	裸 地	黒ポリ	シルバー
7.24	15.0	2.4	7.1	1.8	1.5	3.4	2.7	1.6
7.25	12.6	2.98	6.6	1.9	2.0	3.1	2.3	1.8
7.26	7.0	4.32	3.1	1.7	1.6	3.2	2.4	2.1
7.27*	10.0	2.27	3.8	1.4	1.4	2.4	2.2	1.6

* 交互循環

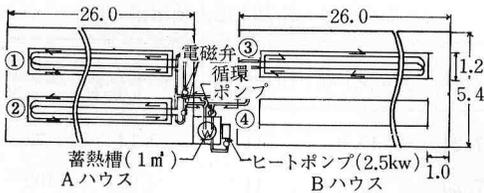


図 ①交互循環Aベット、②交互循環Bベット、
③連続循環ベット④標準ベット、放熱パイプ
(ϕ 20mm)

図 2-1 試験ハウスの配置図

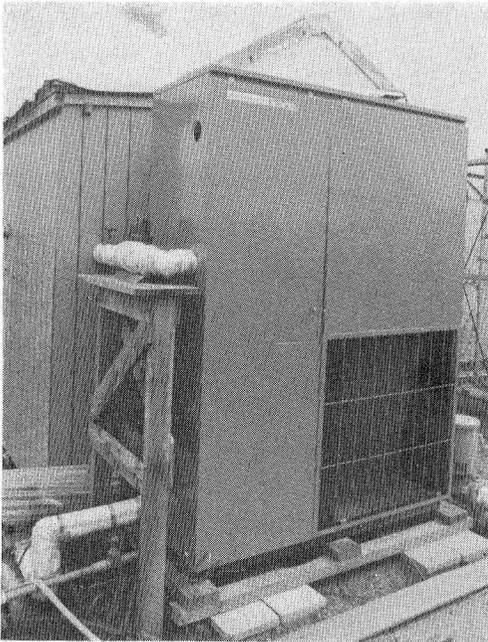


図 2-2 試験に使用したヒートポンプ (チラー型
2.5KW) と冷水タンク

に考えられるため、栽培作物の両サイド配管 (2本) が適した方法で経済的であると判断した。冷却水温と地温低下の状態を見ると、この試験の循環水温 $7 \sim 15^{\circ}\text{C}$ の範囲内では 7°C の熱交換量が大きい。しかし水平、垂直温度分布調査で明らかなようにパイプ周辺土壌域、半径 5cm 程度の狭域地温が低下するに過ぎない。地温低下の程度は水温が低いほど大きく、水温 7°C ではパイプの周辺土壌域は $12 \sim 13^{\circ}\text{C}$ まで低下したが、この温度は栽培作物の根群伸長への悪影響が懸念された。適温の範囲から考察すると、循環水温 15°C か 10°C で交互循環する方式が適当のように思われる。また水温 7°C のものを循環した7月26日は循環時間が11時～18時までの7時間であったが、3時間後の14時測温では 12.5°C まで低下した。循環停止

2時間後の20時の測温では 21.5°C であり、約 9°C 地温が上昇した。このように連続循環してもごく狭い土壌域が地温低下するのみで、この現象は地中加温栽培における温度上昇経過によく似ている²⁸⁾。

土壌冷却に効果的であった2本配管区は、冷却のための熱移動を冷水温度から考察すると、冷水温度 12.6°C のものを循環した場合のパイプ入口、出口温度差の平均 (11～22時) は 1.9°C であった。この時の平均流量は $1,320\text{ l/h}$ (22 l/min) であるから、熱交換量は約 $2,500\text{ kcal/h}$ と推定される。熱交換に用いたパイプの長さが 49m であることから、単位交換熱量を求めると約 50 kcal/m.h となり、加温時の単位放熱量²⁸⁾ (38°C の湯温の初期放熱) とほぼ同一の数値となった。

Ⅲ 地温低下の効率向上試験 (試験2)

試験1の地温低下の状態から考察して冷水循環方法は交互循環による方式が効果的であることが明らかになった。そこで、交互循環方式と地温低下の特性を明らかにするため、循環サイクルについて試験した。

1. 試験方法

試験は新しいファイロンを張ったハウス (140m^2) 2棟を使用した。ハウスの間口 5.4m 、奥行 26m で内部には図2-1に示すように幅 1.2m 、長さ 24m のベットを2ベット設けた。ベットには地中暖房用パイプ (ϕ 20mm) 長さ 100m のものを 30cm 間隔に4本配管し、地表下 10cm に埋設した。Aハウスの2ベットを交互循環区、Bハウスの1ベットを連続循環区にして、1ベットを無配管の標準区とした。ヒートポンプはチラー型 (図2-2) M社製の空対水 (2.5kw) 冷房能力 $6,400\text{ kcal/h}$ を新設し、これと蓄熱水槽 (1m^3) を塩ビ管 ϕ 25mm で連結して、循環ポンプ (0.2kw) により蓄冷した。蓄熱水槽とベットの吸熱管は保温した塩化ビニールパイプ (ϕ 40mm) と循環ポンプ (0.4kw) で接続して冷水を循環させた。流量は流量計とバルブで調節し、交互循環ベットはA、Bおののに電磁弁を取付け、タイマー制御によって交互循環とした。循環水温は $10, 15^{\circ}\text{C}$ を目標に蓄熱水槽の水温を制御するとともに、交互循環は地中からの吸熱量を最大にする最適循環を明らかにするため15分、30分および45分に設定した。

調査は吸熱パイプからの熱移動を中心に地中温度分布、ヒートポンプ使用電力量、吸熱管の循環水量、土壌の三相分布およびハウス内外の日射量などについて行った。

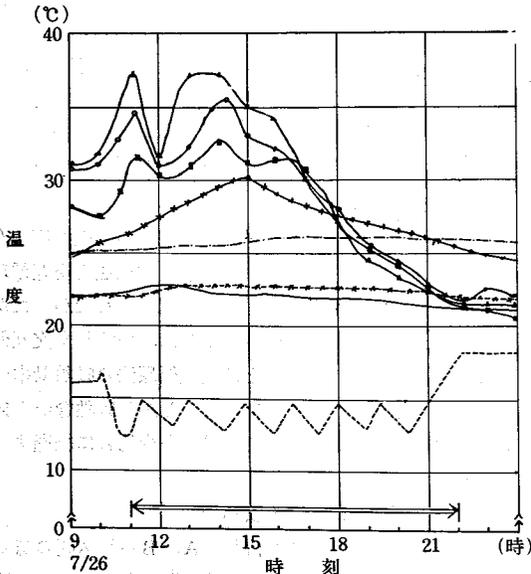
表2-1 試験期間中の日射量とハウス内入射率(ロビッチ日射計)

区別	積算日射量	7月25日	7月26日	7月27日	7月28日	7月30日
全日射量	露地5~19時(1y/day)	471.2	222.7	375.6	269.6	367.5
	ハウス内〃(1y/day)	201.3	87.2	162.3	108.6	175.3
	平均入射率(%)	42.7	39.2	43.5	40.3	47.7
冷却時間	11~17時(1y/day)	132.3	63.3	90.4	73.9	114.6
日射量	単位日射量(kcal/m ² h)	220.4	105.4	150.6	123.2	191.0

表2-2 土壌の三相分布と土壌熱容量(深さ15cm)

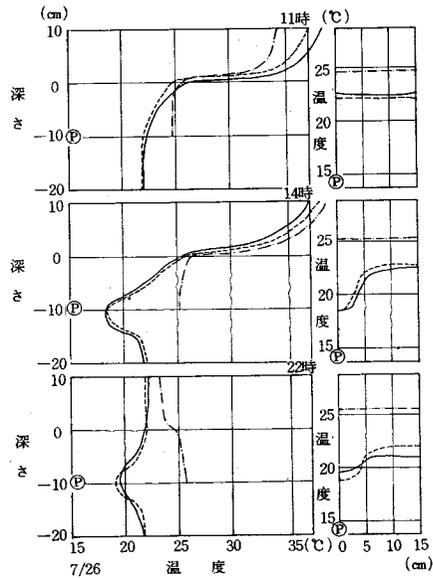
区分	標準ベツト			連続循環			交互循環					
	固相	液相	気相	固相	液相	気相	A区			B区		
							固相	液相	気相	固相	液相	気相
土壌平均三相比率(%)	36.0	23.6	40.4	37.9	23.4	38.7	36.5	22.7	40.8	35.1	23.7	41.2
三相別熱容量(kcal/0.15 ³)	28.08	35.4	0.02	29.56	35.1	0.02	28.47	34.0	50.02	27.38	35.55	0.02
土壌全熱容量(kcal/0.15 ³)	63.50			64.68			62.54			62.91		
標準ベツトに対する比率	1.00			1.02			0.98			0.99		

(注) 1) 比重は固相2.6ton/m³, 液相1ton/m³, 気相1.2kg/m³
 2) 比熱は固相0.2kcal/kg, 液相1kcal/kg, 気相0.24kcal/kg



(注) 気温; 交互循環▲▲, 連続循環○—○, 外気温●—●
 地温; 露地×××, 標準—, 交互循環×—×,
 連続循環—, 循環水温—, 循環ポンプ運転↔

図2-3 冷水交互循環による温度日変化(15℃30分間隔)



(注) 標準—, 交互循環·····, 連続循環—, パイプ○

図2-4 冷水交互循環による床土温度分布(15℃30分間隔)

表2-3 各試験の地温変化

水温	循環 サイクル	時間	交互循環 ¹⁾		連続循環 ²⁾		
			通路	交互 循環	通路	標準	連続 循環
°C	分	時	°C	°C	°C	°C	°C
15	15	11	25.0	23.2	25.8	25.0	23.5
		18	28.5	22.9	28.3	26.0	22.4
		差	+3.5	-0.3	+2.5	+1.0	-1.1
				+1.4 ³⁾		(0.4)	
	30	11	25.0	22.6	25.8	24.7	22.4
		18	27.8	22.5	28.4	25.8	21.8
		差	+2.8	-0.1	+2.6	+1.1	-0.6
				+1.2 ³⁾		(0.42)	
	45	11	24.3	22.5	25.1	25.0	22.3
		18	26.5	22.2	26.3	25.5	21.4
		差	+2.2	-0.3	+1.2	+0.5	-0.9
				+0.9 ³⁾		(0.42)	
10	15	11	25.0	22.5	25.8	25.0	23.0
		18	28.1	28.2	28.0	26.2	20.9
		差	+3.1	-0.3	+2.2	+1.2	-1.1
				+1.7 ³⁾		(0.56)	
	30	11	24.8	22.8	25.5	25.2	22.3
		18	26.9	22.3	27.2	25.8	21.0
		差	+2.1	-0.5	+1.7	+0.6	-1.3
				+0.7 ³⁾		(0.35)	
	45	11	25.3	23.0	26.0	25.1	22.7
		18	27.4	22.9	27.8	26.0	21.7
		差	+2.1	-0.1	+1.8	+0.9	-1.0
				+1.1 ³⁾		(0.5)	

(注) 1) Aハウス, 2) Bハウス, 3) 標準ベットの補正值, () の数値は標準ベットと通路地温の比率を示し, これからハウスの対照ベット地温を求めた。

2. 試験結果

1) ハウス内, 外の日射量と土壌熱容量

調査期間中 (1974年7月25日~30日) の日射量 (ロビッチ日射計) はハウス内に内張り黒寒冷紗を張り遮光し

たため, 平均入射率は43%であった。冷水循環時間 (11~17時), 積算日射量 (時間毎の総積算値) を求め表2-1に示した。熱容量を算出するため, 吸熱管の横10cmを深さ5cm毎に15cmまで土壌三相の調査を行ない熱容量を求めた (表2-2)。この結果によると各試験区とも熱容量には大きな差はなく, 耕土 (0~15cm) の熱容量は平均63.4kcal/0.15m³であった。

2) 循環法と冷水温度による地温変化

冷水温度10, 15°Cの交互循環サイクル (15, 30, 45分) と連続循環の地温変化を測定した。ここでは水温15°C, 30分交互循環のみを示す。(図2-3)

連続循環と交互循環ハウスは別ハウスとしたため, できるだけ同一条件になるように温度管理をしたが, 表2-3の温度変化を見るように, 両ハウス間に若干の温度差が認められた。この原因はハウス内気温25°C以上で作動する換気扇のサーモスタット感度の違いによるものと推定された。この気温差は地温上昇にも関係し, 平均約1°C Aハウス地温 (通路) が高いので, 単位熱容量を求める場合には補正した。

交互循環ベット地温 (以下地温については地下10cm, 冷却ベットは循環パイプの横10cm) は連続循環ベットと比較して地温低下はやや劣った。その差は循環サイクルが長間隔になるほど大きくなる傾向がみられた。しかし交互循環ベットの冷水循環量は面積当たりと比較すると, 連続循環量の1/2であるため, 地温低下の差があるのは当然であるが, その差は循環水量には比例せず, 交互循環の冷却効果の大きいことが明らかである。このことはさらに土壌条件や日射取得などと関連して好適循環サイクルを採用することにより, 土壌冷却効果は一層高めることが期待できる。

水温15°Cのものを循環した場合の水平の垂直温度分布を図2-4に示す。これによると連続循環法と交互循環法との間にはあまり大きな温度差は認められなかったが, 吸熱管付近での土壌域の温度低下幅は, いずれも交互循環区が大きかった。このことは交互循環法の吸熱効率の大きいことを裏付けるものである。しかし吸熱管から10cm以上離れると連続循環区の地温が多少低目に経過することがわかった。

3) 交互循環法における吸熱量

地温測定から表2-3を得た。A, Bハウス間の気温に差があるため, 各ハウスの通路地温からAハウスの地温変動を求めた。通路には栽植がなく, 日射条件も異なるので, Bハウスにおける通路を標準ベット地温の比率からAハウス通路地温を補正した。この地温変化をもとに各冷却ベットの冷却度から, 交互循環と連続循環の吸

表2-4 交互連続循環地温の冷却度

水温 ℃	循環 サイクル 分	項目	交互循環 (Aハウス)			連続循環 (Bハウス)		
			標準ベット 地温差(補正)	交互循環 ベット	交互循環ベ ット冷却度	標準ベット	連続循環 ベット	連続循環ベ ット冷却度
15	15	地温差(℃)	+1.4	-0.3	-3.4	+1.0	-1.1	-2.1
		吸熱比率(%)		62			38	
	30	地温差(℃)	+1.2	-0.1	-2.6	+1.1	-0.6	-1.7
		吸熱比率(%)		60			40	
	45	地温差(℃)	+0.9	-0.3	-2.4	+0.5	-0.9	-1.4
		吸熱比率(%)		63			37	
10	15	地温差(℃)	+1.7	-0.3	-4.0	+1.2	-1.1	-2.3
		吸熱比率(%)		63			37	
	30	地温差(℃)	+0.7	-0.5	-2.4	+0.6	-1.3	-1.9
		吸熱比率(%)		56			44	
	45	地温差(℃)	+1.1	-0.1	-2.4	+0.9	-1.0	-1.9
		吸熱比率(%)		56			44	

(注) 1) A, Bハウスの地温上昇に差があるため、標準ベットと通路地温の比率からAハウス地温の上昇度を補正した。
2) 交互循環の冷却度は、連続循環の2倍の面積を冷却するため、冷却度も2倍した。

熱比率を求め表2-4を得た。地温変化から求めた比率は平均して60:40と交互循環の吸熱が多くなる傾向が認められた。

交互循環サイクルにおける吸熱量を比較すると、冷水温度10℃、15℃ともに15分交互循環の短サイクルの方が吸熱量は高まる傾向がみられた。

3. 考 察

加温施設、地中暖房機の稼働率と地温上昇効果を高める対策として考案した交互循環法²⁸⁾の効果についてはすでに報告したが、ヒートポンプによる交互循環の効果は適確に把握できなかった。その原因は地中吸熱量が日射量や気温変動により絶えず変化するためである。

そこで、蓄熱水槽の水温変化から吸熱量を求めることにし、ハウス内の地温上昇が最高になる15時を基準に12~15時の水温変化を平均して、ヒートポンプの停止時と運転時の両面から吸熱量を求めた。

また、ヒートポンプの成績係数を求めるにあたって、蓄熱水槽の水量を1m³計量し、運転時の水温低下と使用

電力量を測定したものをを用いた。測定値は比較的安定した9~16時の平均値を用い、成績係数2.14が得られた。

(表2-5) また、循環による地中の吸熱量を求めるため、冷水循環量、使用電力を調査して表2-6、さらにこれより床土の吸熱量を求め表2-7が得られた。このようにして求めた吸熱量には差異があるが、傾向は類似し、すなわち、冷水温度15℃よりも10℃の吸熱量が大きく、循環サイクルでは長サイクルになるほど減少する傾向がみられた。この傾向は地温変化に類似し、地温1℃低下に要する熱量でみると15℃で15分間隔が最も効果的で、10℃の30分間隔が最も効率が悪い結果となった。注目される点は冷水温度10℃よりも15℃の効率のよいことで、この原因は必要以上の冷水温度の場合、導水パイプや蓄熱水槽などによる熱ロスもさることながら、冷却水が低温になるほど使用電力量が増大するのに対し、土壌冷却パイプ近接の局部冷却となることによる効率低下の結果であると推定した。また、気温は自然状態で高温になるため、交互循環法では循環停止中の日射による受熱が、循環中の吸熱を上回る場合には地温低下効果は減少

表2-5 蓄熱槽水温から求めた成績係数

項目	測定値	熱量 (kcal/h)
水温低下	-6.0°C/h	6,000
保温率	96%	6,250
動力源	3.4kw	2,924
成績係数	2.14	

- (注) 1) 水温低下は2次側の使用を停止して9~16時までの平均で求めた。
2) 保温率は2次側の使用を停止した22~7時までの水温上昇から求めた。

する。このため、従来から実施されている敷ワラによる地温上昇防止効果を見直す必要がある。

また、表2-6に示したように、ヒートポンプの稼働率が50%以下であるため、設備効率を高める上でヒートポンプ能力に適した蓄熱水槽の利用を検討する必要があることが明らかになった。

Ⅳ ヒートポンプ利用における蓄熱水槽の効果(試験3)

試験2の結果からヒートポンプの設備効率を高めるため、蓄熱水槽の必要性について言及した。既設のヒートポンプ(2.5kw)に大型蓄熱槽(5m³)を組合せて施設適

表2-6 循環流量および使用電力量

水温(°C)	月日	区分	循環流量		使用電力量		稼働率	
			時間(min)	平均流量(l/min)	2次循環中の平均電力量時間(h)	1日の電力量(kw/h)		
		連続循環	652	22.6				
	7.25	15分 { 交互循環(A)	326	22.4	11	2.72	29.9	0.37
		" (B)	326	21.1				
		連続循環	652	23.5				
15	7.26	30分 { 交互循環(A)	326	22.6	11	2.55	28.0	0.34
		" (B)	326	21.7				
		連続循環	512	23.8				
	7.27	45分 { 交互循環(A)	256	23.4	9	2.27	20.4	0.25
		" (B)	256	22.3				
		連続循環	652	23.0				
	7.30	15分 { 交互循環(A)	326	22.6	11	3.13	34.4	0.42
		" (B)	326	22.0				
		連続循環	652	23.1				
10	7.29	30分 { 交互循環(A)	326	22.3	11	2.93	32.2	0.39
		" (B)	326	22.0				
		連続循環	652	23.2				
	7.28	45分 { 交互循環(A)	326	22.9	11	2.67	29.4	0.36
		" (B)	326	21.7				

- (注) 1) 7月27日は事故停電(2時間)のため通電時間短縮 2) 稼働率は設備電力3.4kwで試算した。

表2-7 冷水循環の吸熱量

水温 (°C)	循環 サイ クル (分)	使用電力量と成績係 数から求めた熱量		冷水温度変化か ら求めた熱量 (kcal/h)	
		吸 熱 量 (kcal/h)	地温1°C低下 に要した熱量 (kcal/h°C)	ヒート ポンプ 運転時	ヒート ポンプ 停止時
15	15	5,000	909	4,600	4,800
15	30	4,700	1,093	4,500	4,500
	45	4,200	1,024	4,100	4,200
15	15	5,800	920	5,500	6,000
10	30	5,400	1,256	4,700	6,700
	45	4,900	1,140	4,700	4,500

(注) 1) 使用電力量は11時間の平均値
2) 冷水変動は蓄熱槽温度12~15時までの平均温度変化を基準にした。

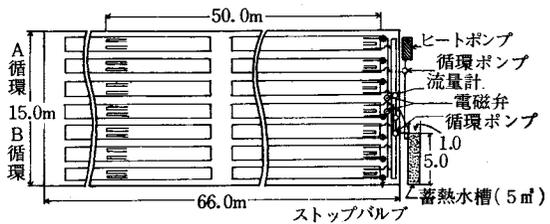
応面積を求めるための試験を行った。

1. 試験方法

試験は大型ZMハウス(990㎡)を使用した(図3-1)。ハウスは間口15m, 奥行66mの鉄骨ビニール張り, 内部にベット幅1.4mの畦を7ベット設けた。蓄熱水槽はハウスの南側に容積5㎡(幅1m, 長さ5m, 水深1.0m)の地下式とし, 水槽の外部はブロック(厚さ15cm)囲いとして内部に厚さ2.5cmの発泡スチロールの断熱板を張り, 内部に厚さ0.1mmのビニール袋の水槽を入れた。とくに上部は外気に接するため断熱に留意し, 防水ベニア板の上に発泡スチロール粒を入れたビニール袋により断熱層を作り上部を覆った。

二次側の配管は各ベットに吸熱パイプ(φ20mm)延長200m(1ベットの長さ50m)を地下10cmに埋設し, 各ベットともストップバルブを取付けて, 循環水量を任意に調節できる構造にした。一方, 交互循環は表3-1に示すように配管本数を変えて試験できるようにし, それぞれ電磁弁(50mm)を取付けて交互循環できるようにした。ヒートポンプは試験2で使用したチラー型(2.5kw)のものをを用い, 蓄熱水槽の間を循環ポンプ(0.2kw)で連結し, 1975年5月26日~28日にかけて加温, 冷却時における成績係数を調査した。

試験は水槽内の水温, 外気温をサーミスター記録温度計(12点)で測定するとともに記録電流計で負荷量, 積算電力計で使用電力量を測定した。なお, ヒートポンプ



(注) ベット幅1.4m

図3-1 試験区の配置図

表3-1 試験区

区 別	試験Ⅰ		試験Ⅱ		試験Ⅲ	
	A	B	A	B	A	B
配管本数(本)	2	3	3	4	2	4
配管の長さ(m)	400	600	600	800	400	800

表3-2 加温冷却時におけるヒートポンプ成績係数

項 目	加 温 時	冷 却 時
条 件		
外気温度(°C)	23.8 ¹⁾	24.6 ¹⁾
蓄熱水量(ℓ)	2,700	4,700
流 量(ℓ/min)	29.5	26.0
タンク		
能 力		
停止時の平均水温変化(°C/h)	0.27 ²⁾	0.09 ³⁾
保 温 率(%)	93	96
ヒート		
ポンプ		
能 力		
運転時の平均水温変化(°C/h)	+3.61 ¹⁾	-2.17 ¹⁾
使用電力量の 平均値(kwh)	3.8	3.9
成 績 係 数	3.2	3.17

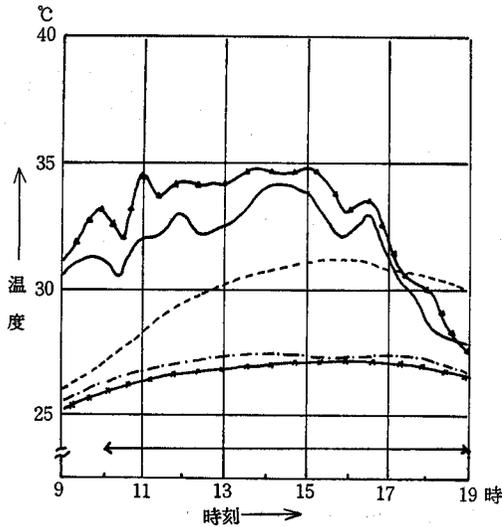
(注) 1) ; 15~21時平均, 2) ; 23~8時平均, 3) ; 7~18時平均

※ 保温率は次式によった。Kr = (Wh - Wt) / Wt
但し Kr ; 蓄熱槽の保温率(%)
Wh ; 停止時の平均水温変化(°C/h)
Wt ; 運転時の平均水温変化(°C/h)

※※ 成績係数は次式によった。

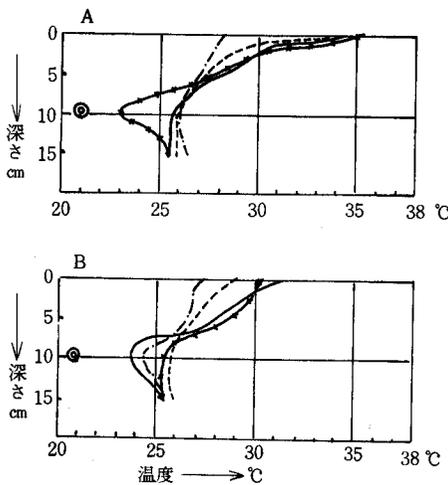
$$COP = Q_w / Kr / 860W$$

但し, COP ; 成績係数 (Coefficient of Performance)
Qw ; 平均蓄熱量 (kcal/h)
Kr ; 保温率 (%)
W ; 使用電力量 (kwh)



(注) 外気温——, ハウス内気温▲——▲, 外地温-----,
 試験ⅠA循環(2本)---, B循環(3本)×——×
 ◇Ⅱ◇(3本)---, ◇(4本)×——×
 ◇Ⅲ◇(2本)---, ◇(4本)×——×

図3-2 配管本数差による地温の日変化
 (30分サイクル) 試験Ⅲ 8月14日



(注) 10:00-----, 14:30×——×, 15:00——, 19:00---
 パイプ○, Aは循環パイプ2本, Bは4本

図3-3 配管本数によるベットの垂直温度分布
 (30分サイクル) 試験Ⅲ (8月14日)

表3-3 冷却時のヒートポンプ成績係数

項目	日中運転時	夜間運転時
条件 外気温度 (°C)	28.2 ¹⁾	22.3 ²⁾
蓄熱水量 (ℓ)	5,000	5,000
流量 (ℓ/min)	26	26
ヒートポンプ能力 運転時の平均水温変化 (°C/h)	1.33 ¹⁾	1.70 ²⁾
使用電力量の平均値 (kwh)	3.9	3.6
保温率 (%)	96	96
成績係数	2.07	2.86

(注) 1) ; 10~16時平均, 2) ; 22~4時平均
 保温率は表3-1の冷却時保温率によった。

の加冷却水温は出口と入口の水温差が5°Cになるように調整した。加温時の調査では蓄熱槽の水量を2.7m³とし水温46°Cまで昇温した。冷却時の調査は蓄熱槽の水量を4.7m³にして調査した。

2. 試験結果

1) 蓄熱水槽によるヒートポンプの成績係数

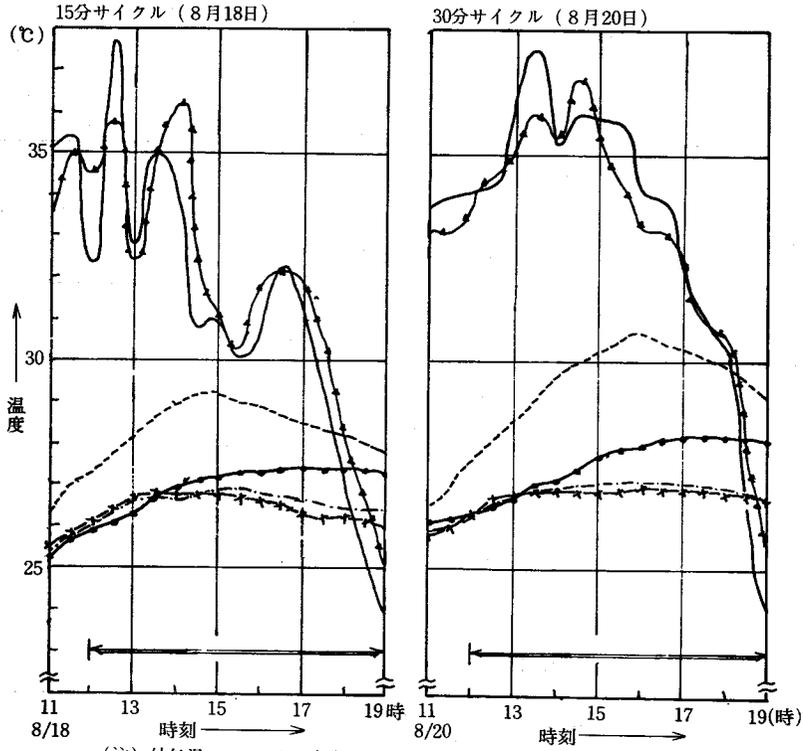
ヒートポンプの効率的利用には成績係数を高めて利用することが有利で、とくに空気熱源方式では外気の温度条件が最も大きく影響する。したがって効率のよい夜間(加温時は日中)に蓄熱水槽の水を冷却しておき、日中にベットの地温を冷却するのが有利である。

成績係数は加温、冷却とも約3.2と高く、蓄熱水槽の保温率についても、簡易施設であったが約93~96%と極めて良好であった。

基礎調査とは別に冷却試験時期の成績係数を日中と夜間の別に調査した。その結果は表3-3に示すように、日中に比較して温度の低い夜間が効率の良いことがわかった。従って、二次側の使用は日中であり、蓄熱水温とヒートポンプ発熱量の合計した熱量が地中吸熱量となるので、蓄熱水槽の水温変化から地中吸熱量を求める場合に日中のヒートポンプ成績係数をもちいて計算した。

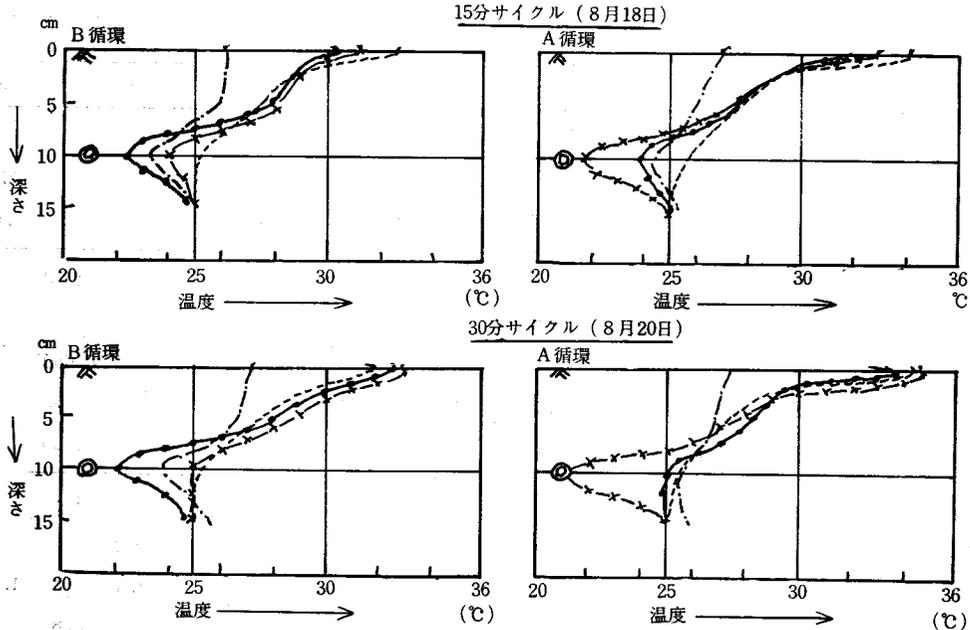
2) 地温変化について

試験は配管本数を変えて3回行ったが、試験Ⅲの2本と4本の交互循環を図3-2に示す。面積(配管本数)が異なることにより地温日変化に多少の差がみられた。すなわち、面積の小さいA循環が高目に経過した。試験



(注) 外気温——, ハウス内気温▲——▲, 外地温-----, 対照ベット●——●,
A循環——, B循環×——×, 循環ポンプ運転←→

図3-4 循環サイクルによるハウス内外の日変化



(注) 時分 11:00-----, 11:30×——×, 15:00●——●, 19:00-----
パイプ◎

図3-5 循環サイクルによるベットの垂直温度分布

表3-4 配管本数差による吸熱量

項 目	試 験 I		試 験 II		試 験 III	
	A	B	A	B	A	B
配 管 本 数 (本)	2	3	3	4	2	4
配 管 の 長 さ (m)	400	600	600	800	400	800
流 量 (ℓ/min本)	9.8	10.6	10.0	10.6	9.0	9.6
蓄熱槽水温変化 (℃/h)	1.22		1.47		1.27	
水温変化から求めた吸熱量 (kcal/h)	6,100		7,350		6,350	
吸熱量 ヒートポンプ発熱量 (kcal/h)	6,650		6,650		6,650	
全 吸 熱 量 (kcal/h)	12,750		14,000		13,000	
単 位 吸 熱 量 (kcal/m・h)	12.75		10.0		10.8	
対 照 ベ ッ ド (℃)	3.1		1.7		2.4	
地温変化 冷 却 ベ ッ ド (℃)	2.0	2.0	1.1	0.9	1.4	1.4
(10~19時) 冷 却 度 (℃)	-1.1	-1.1	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0
単 位 吸 熱 量 (kcal/m・h・℃)	5.8		7.1		5.4	

- (注) 1) 2次側運転は10~19時で循環サイクルは30分とした。
2) ヒートポンプの発熱量は表3-2の日中運転によった。

表3-5 交互循環サイクルによる吸熱量

項 目	15分サイクル		30分サイクル	
	A	B	A	B
配 管 本 数 (面積㎡) (本)	3(210)	3(210)	3(210)	3(210)
配 管 長 さ (m)	600	600	600	600
流 量 (ℓ/min本)	9.9	10.7	9.7	10.6
蓄熱槽水温変化 (℃)	1.37		1.60	
水温変化から求めた吸熱量 (kcal/h)	6,850		8,000	
吸熱量 ヒートポンプ発熱量 (kcal/h)	6,650		6,650	
全 吸 熱 量 (kcal/m・h)	13,500		14,650	
単 位 吸 熱 量 (kcal/mh)	11.25		12.20	
対 照 ベ ッ ド (℃)	1.4		1.8	
地温変化 冷 却 ベ ッ ド (℃)	0.1	-0.1	0.4	0
(12~19時) 冷 却 度 (℃)	-1.3	-1.5	-1.4	-1.8
単 位 吸 熱 量 (kcal/m・h・℃)	4.0		3.8	

- (注) 1) 2次側運転は12~19時とした。
2) ヒートポンプの発熱量は表3-2の日中運転時によった。

I, IIも同様の傾向である。これは配管本数が少なくなることにより流量が増加することによるものと推定される。図3-3は垂直温度分布を示したものであるが、配管本数の差によりA循環とB循環の同時刻で温度傾度に違いが認められる。これは冷水循環切換えと測温時間の違いが、温度差になっているものと推定される。

交互循環法で異なる面積を循環した場合、温度差が生じるのではないかという懸念があったが、図3-2のように大きな地温差ではなく、蓄熱水槽を用いた場合は支障がないものと判断した。交互循環のサイクルについては表3-5にみるように30分サイクルの方が吸熱量は大きい、地温低下を加味した単位吸熱量は15分サイクルがわずかに多くなった。

3. 考 察

試験に使用した2.5kwのヒートポンプを効率的に稼働させ、地温低下の施設面積を拡大するためには、その能力に応じた蓄熱槽を施設する必要がある。

冷却時の吸熱量は地中からの吸収量とヒートポンプから発生する熱量の合計値が地中吸熱量とみることができ。このようにして計算すると単位循環パイプの吸熱量は大体10~13 kcal/m.hとなった。さらに地中冷却度を加味した単位吸熱量は約5.4~7.1 kcal/m.hとなった。この数値は地中加温²⁸⁾の場合の単位放熱量9.7~11.0 kcal/m.hの約1/2となった。

本試験では水量5m³の蓄熱槽をもちいたが、この場合の稼働率は約67%であった。すなわち5m³の水量の水温20℃を8℃まで低下するための運転時間は約7時間、二次側の運転中もヒートポンプは稼働するので1日約16時間であった。従って残り8時間は運転可能であり、これは蓄熱水槽を拡大することが可能となる。二次側の運転を9時間(10~19時)として冷却すると、夜間の15時間は蓄冷できることになり、夜間の熱出力8,500kcal/h(成績係数2.8)として、蓄熱水温を求めると約10m³の水を12℃低下(20℃から8℃)させることが可能である。この蓄熱量は120,000kcalとなるので、日中の冷却時間

を9時間として、1時間当り約13,000kcal/h、ヒートポンプの発熱量8,500kcal/hとあわせて約2.2,000kcal/hが利用可能である。従って、パイプの単位吸熱量(表3-4, 5)約13kcal/m.hとすると、吸熱パイプは約1,680mとなり、1ベット(1.4m幅)4本配管として約1,000m²の施設面積に適應できる。なおこの計算の基礎は交互循環することを条件とし、地温低下目標は約2℃とした。

V 連続循環による地温低下と野菜の生育、収量(試験4)

ヒートポンプにより地温低下をはかり、トマトおよび軟弱野菜の生育、収量におよぼす影響について検討を行った。

1. 試験方法

この試験は試験1の施設を用いた。試験区は表4-1に示すとおりである。地温冷却は循環水温15℃±2℃のものを1973年6月1日~9月30日の122日間循環した。

トマトの品種は強力五光を用いた。2月21日に播種し青枯病の発病を防止するため、BF興津101台木に接木して育苗した。定植は4月21日うね幅1.2m、株間40cmの2条植とした。施肥量はa当り窒素4.2kg、リン酸2.8kg、加里3.2kgを施用した。整枝は1本仕立の斜め誘引とした。

ワケギは早生種と晩生種を用い、6月15日、7月2日、16日、8月1日、15日の5回に植付けた。施肥量はa当り窒素1.0kg、リン酸0.5kg、加里0.8kgを施用した。

ハウレンソウは深緑を用い、7月18日播種、播種量はa当り1ℓとした。施肥量はa当り窒素1.0kg、リン酸1.0kg、加里1.6kgを施用した。

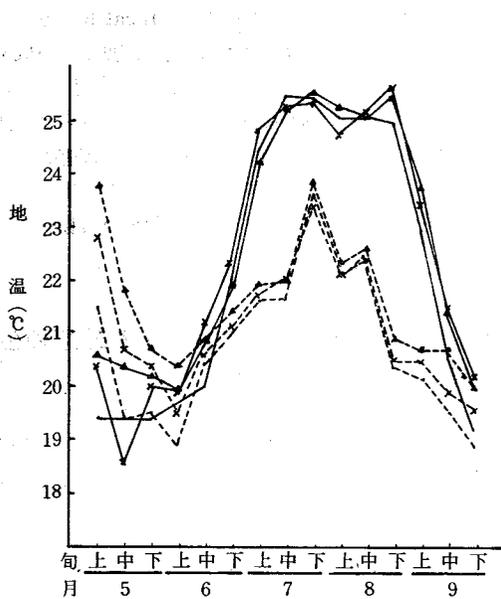
2. 試験結果

1) ハウス内気温と地温

ハウス内気温はファイロンの汚れのため入射率は35~

表4-1 試験 区

配管本数	深さ	被 覆 物	冷水温度	トマト	ワケギ	ハウレンソウ	備 考
0	本	裸 地	15℃±2℃	○	○被覆	○被覆	温度制御は2本配管裸地区の冷水循環パイプより10cm水平に離れた地点の地温20~22℃で行なう。
2	10	シルバー		○	○物なし	○なし	
4		黒ポリ		○			



(注) 冷却は6月1日~9月30日、地温サーモは22℃に設定
標準 裸地—, シルバー×—×, 黒ポリ▲—▲
冷却(2本) 裸地---, シルバー×---×, 黒ポリ▲---▲

図4-1 地温低下処理と旬別地温の変化

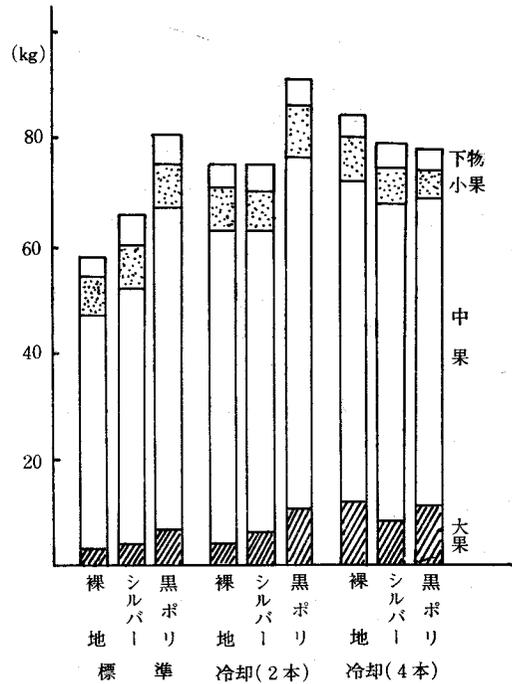


図4-2 地温低下とトマトの品別取量(重量・20株)

表4-2 地温低下とトマトの時期別取量

試験区	6月		7月		8月		9月		合計		
	個数	重量	個数	重量	個数	重量	個数	重量	個数	重量	
標準	裸地	29 (100)	4,070 (100)	225 (100)	28,350 (100)	82 (100)	10,690 (100)	107 (100)	14,700 (100)	443 (100)	57,810 (100)
	シルバー	56 (193)	7,340 (180)	296 (132)	38,380 (135)	57 (70)	8,770 (82)	91 (85)	11,390 (77)	500 (113)	65,880 (114)
	黒ポリ	57 (197)	5,800 (143)	298 (132)	43,150 (152)	81 (99)	12,820 (120)	141 (132)	18,900 (129)	571 (130)	80,670 (140)
冷却(2本)	裸地	36 (124)	5,230 (129)	291 (129)	38,290 (135)	99 (121)	13,520 (126)	133 (124)	18,370 (125)	559 (126)	75,410 (130)
	シルバー	42 (145)	5,730 (141)	278 (124)	39,030 (138)	88 (107)	14,430 (135)	117 (109)	15,890 (108)	525 (119)	75,080 (130)
	黒ポリ	46 (159)	6,030 (148)	335 (149)	52,370 (185)	89 (109)	16,130 (151)	112 (105)	16,640 (113)	582 (131)	91,170 (158)
冷却(4本)	裸地	51 (176)	8,570 (211)	276 (123)	46,740 (165)	126 (154)	17,290 (162)	86 (80)	11,990 (82)	539 (122)	84,590 (146)
	シルバー	49 (169)	8,130 (200)	264 (117)	38,150 (135)	121 (148)	19,590 (183)	94 (88)	13,410 (91)	528 (119)	79,280 (137)
	黒ポリ	45 (155)	6,700 (165)	319 (142)	46,800 (165)	95 (116)	15,640 (146)	73 (68)	9,600 (65)	532 (120)	78,640 (136)

(注) () 内は標準裸地に対する割合

20株合計値

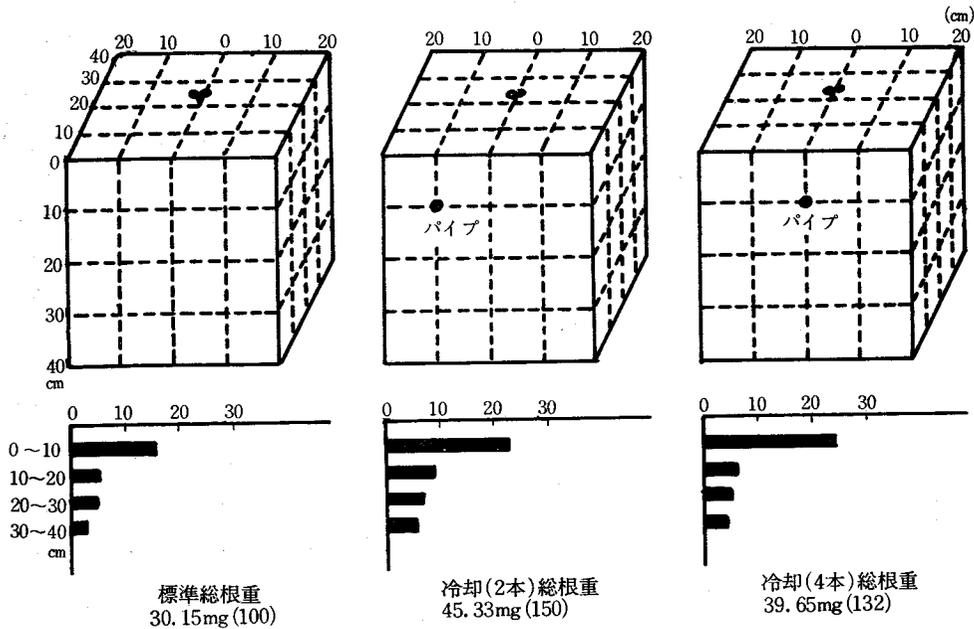


図4-3 ブロック法による根系の分布量(10月5日)

40%と低く、7～8月の高温期は風量型換気扇(径80cm)2台で強制換気を行ったため低目に経過した。地温の変化は図4-1のように、標準区の裸地では冷却期間中の平均地温は22.2℃で2本配管区の裸地は約2℃低目に経過し、4本配管区は3.5℃低目であった。

被覆資材が地温におよぼす影響をみると、標準区のシルバーマルチ区、黒ポリマルチ区は裸地より僅かに高目になる傾向がみられ、資材別では5～6月の生育初期はシルバー区が黒ポリ区より低目に経過し、7～9月は差がなくなった。冷却2本配管区においてもマルチ区は両区とも裸地より地温低下は少なく、マルチの種類では標準区と同様にシルバー区が低目に経過した。

2) トマトの生育、収量

展開葉数は各処理間に差は認められなかった。各花房の開花時期は標準区と冷却区の裸地間には差はなく、裸地とシルバー区間にも差は認められなかった。冷却4本配管区の黒ポリ区は半旬～1旬開花が早まる傾向がみられた。被覆物の影響ではシルバー、黒ポリ区とも開花数が増加する傾向がみられ、黒ポリ区の開花数は裸地に比較して11～18%増加した。

総収穫個数は図4-2、表4-2に示すように標準区の裸地に対して、冷却区の裸地は2本配管区が26%、4本配管区は22%の増収となった。重量では2本配管区の裸地は30%、4本配管区の裸地は46%増収となった。

表4-3 地温低下とワケギの生育収量

植付月日	品種	処理	草丈(cm)	分けつ(本)	20株当重(量(g))	同指数(%)	収穫月日
6.15	早生	標準	25	9.2	133	100	8.7
		冷却	32	11.1	263	198	〃
	晩生	標準	27	6.5	249	100	〃
		冷却	35	6.8	362	145	〃
7.2	早生	標準	32	9.9	222	100	8.21
		冷却	33	9.5	244	110	〃
	晩生	標準	36	6.3	324	100	〃
		冷却	38	6.9	503	155	〃
7.16	早生	標準	39	12.9	521	100	9.5
		冷却	41	10.3	610	117	〃
	晩生	標準	36	8.4	556	100	〃
		冷却	41	11.1	802	144	〃
8.1	早生	標準	43	11.0	782	100	9.21
		冷却	48	10.7	930	119	〃
	晩生	標準	44	11.7	859	100	〃
		冷却	49	13.3	1,260	147	〃

(注) 冷却区は2本配管

表4-4 地温低下とハウレンソウの生育収量

試験区	草丈	20株当り重量	1㎡当り収量
	cm	g	g
標準	23.5(100)	136 (100)	363 (100)
冷却 ¹⁾	28.8(123)	210 (154)	626 (172)

(注) 冷却¹⁾は4本配管, ()の数字は指数,
収穫日 8月22日

表5-1 試験区

試験区	配管本数	配管間隔	深さ	循環水温	栽培野菜	面積
		cm	cm	℃		㎡
標準	ベットの幅120cmに4本配管	30	10	12 16	ミツバ ワケギ ハウレンソウ	2.88 10 4 4
連続循環						
交互循環						

被覆物の影響は標準区, 冷却2本配管区では黒ポリ区がシルバー区より収穫個数, 重量とも多くなった。4本配管区では黒ポリ区とシルバー区の間には差がなかった。品別収量についてみると, 裸地, マルチ区とも冷却区は標準区に対して上物果が多かった。

250g以上の個数が標準裸地区の100に対して2本配管区はシルバー区が164, 黒ポリ区264, 4本配管区ではシルバー区207, 黒マルチ区271となっている。これは地温低下によりトマトの果実肥大がよくなり, 収量増に結びついたものと思われる。

3) 根の分布状態

根群の分布調査は10cm³内の根を採取するブロック法により調査した。調査は図4-3に示すように株を中心に40cm, 深さ40cm内の根量を測定した。総根量は標準区の30.15gに対して, 冷却2本配管区45.33g, 4本配管39.65gで地温低下により根量の増加がみられた。これを層別別の分布比率でみると各層とも標準区と冷却区の比較では, 20cmまでは根量に差がみられたが, 20cm以下には差がなかった。

4) ワケギの生育, 収量

各定植区とも高温処理球を植付けたため, 萌芽については標準区と冷却区(配管2本区)の間には差は認められなかった。しかし, 草丈の伸びは各植付時期ともに, 冷却区の伸長がよく, 品種間では晩生種の伸びがよかった。埋設パイプの位置による生育差は認められなかった。分けつ数についてみると, 各植付時期とも標準区と冷却

表5-2 冷水循環による地温の旬別経過

月	旬	標準区	連続循環区	交互循環区
		℃	℃	℃
6	下	21.9	19.6 (-2.3)	21.5 (-0.4)
7	上	24.3	21.7 (-2.6)	22.2 (-2.1)
	中	25.4	22.9 (-2.5)	23.7 (-1.7)
	下	26.1	21.8 (-4.3)	22.3 (-3.8)
8	上	26.6	22.2 (-4.4)	22.3 (-4.3)
	中	26.0	21.9 (-4.1)	22.2 (-3.8)
	下	25.8	21.9 (-3.9)	—
9	上	24.8	21.0 (-3.8)	22.2 (-2.6)
	中	23.0	19.7 (-3.3)	21.5 (-1.5)

(注) ()内の数字は標準に対する低下温度

区の差はない。20株当りの重量は各植付時期とも冷却区が多く, 晩生種の場合栽培条件の悪い6月15日定植では重量は約2倍であった。その他の時期はいずれも10~20%の増収で, とくに晩生種は44~55%の増収となったのが注目される(表4-3)。

5) ハウレンソウの生育, 収量

冷却区は発芽揃いがよく, その後の生育も順調であった。標準区は発芽が不揃いで, かつ立枯性の病害が多発した。埋設パイプの位置による生育差は認めなかった。収穫調査の結果では20株当りの重量は, 標準区136gに対して4本配管区は210gであった。1㎡当りの収量指数は標準区100に対して冷却区は172で地温低下の効果がはっきりと現われた(表4-4)。

VI 交互循環法と野菜の生育, 収量(試験5)

前記試験の結果から地温低下により野菜の生育収量に効果が認められたので, ヒートポンプの利用効率を高める目的で交互循環法により冷水循環を行ない試験を実施した。

1. 試験方法

試験2で使用した施設を用いた。試験区は表5-1に示す。

トマトの供試品種は強力五光を用いた。前年と同様に

表5-3 冷水循環法とトマトの品位別収量

試験区	大果 250g<		中果 100~250g		小果 <100g		奇形・裂果		尻腐果		合計	
	個数	重量	個数	重量	個数	重量	個数	重量	個数	重量	個数	重量
	個	g	個	g	個	g	個	g	個	g	個	g
標準区	86 (100)	26.450 (100)	408 (100)	70.410 (100)	47	3.470	47	8.490	20	3.500	608 (100)	112.320 (100)
連続循環区	68 (79)	20.020 (76)	467 (114)	76.300 (108)	75	5.960	38	6.330	12	1.490	660 (109)	110.100 (98)
交互循環区	60 (70)	18.090 (68)	497 (121)	80.190 (114)	52	4.210	51	8.980	17	2.300	677 (111)	113.770 (101)

20株当たり合計値

表5-4 冷水循環法とミツバの生育・収量

播種日	収穫までの 日数	標準区			連続循環区			交互循環区		
		草丈	葉数	収量	草丈	葉数	収量	草丈	葉数	収量
月日	日	cm	枚	kg	cm	枚	kg	cm	枚	kg
5.22	43	23	3.3	19.5 (100)	21	3.3	15.0 (77)	25	3.6	22.1 (113)
6.5	41	23	3.4	19.6 (100)	22	3.2	18.4 (94)	24	3.4	22.4 (114)
15	45	27	3.9	18.3 (100)	29	3.8	14.4 (79)	29	4.0	29.0 (158)
25	45	23	3.9	15.9 (100)	27	3.6	17.3(109)	26	4.1	28.6 (180)
7.5	49	23	4.2	21.3 (100)	27	4.6	14.1 (66)	27	4.1	35.4 (166)
15	48	26	4.1	17.5 (100)	30	4.0	30.0(171)	29	4.5	24.0 (137)
29	48	24	3.9	13.3 (100)	28	3.4	23.3(175)	28	3.7	19.0 (143)

(注) 供試品種 大阪青みつば 収量は10㎡当りの重量

青枯病の発生を防止するためBF興津101台木に接木した。穂木の播種は2月28日、定植は5月1日とした。栽植密度はうね幅1.2m、株間40cmの2条植、施肥量はa当り窒素4.2kg、リン酸2.8kg、加里3.2kgとした。整枝は1本仕立の斜め誘引とした。6月19日より麦ワラマルチを行った。

ミツバ；供試品種は大阪青みつばを用いた。播種は5月22日、6月5日、14日、25日、7月6日、15日、26日の7回とした。施肥量はa当り窒素1.4kg、リン酸0.7kg、加里0.8kgとした。

ハウレンソウ；供試品種はニューアジアを用いた。播種は7月13日、8月5日の2回、施肥量はa当り窒素2.0kg、リン酸1.0kg、加里1.6kgとした。

ワケギ；晩生種を用いた。播種は6月1日、15日、7月2日、15日、8月1日の5回とした。施肥量はa当り窒素1.3kg、リン酸0.7kg、加里1.0kgとした。

2. 試験結果

1) ハウス内気温と地温の経過

6月下旬からハウス内に黒300#の寒冷紗を屋根型に張り、日射制限を行ったため、ハウス内の日射の日積算入射率は39.2~47.7%であった。ハウス内気温は25℃以上になると換気扇(風量型直径100cm)で強制換気を行った。そのため旬別最高気温は7月下旬~8月中旬の最も外気温の高い時期で39.5℃であった。

地温の変化は表5-2のとおり、標準区は8月上旬の地温が26.6℃で最も高い。連続循環区は7月中旬が22.9℃で、標準区より3.7℃低くなっている。交互循環区は23.7℃で約1℃の差があった。地温低下の経過はほぼ昨年と同様であった。

2) トマトの生育、収量

展開葉数は標準区と冷却区間に差は認められなかった。花房別着果数の調査では第1花房から13花房までの総着

表5-5 冷水循環とハウレンソウの生育・収量

播種日	標準区			連続循環区			交互循環区		
	草丈	葉数	収量	草丈	葉数	収量	草丈	葉数	収量
7月12日	22(100) cm	4.7 枚	3.670(100) g	25(113) cm	6.1 枚	4.580(125) g	22(100) cm	5.6 枚	4.730(134) g
8月5日	21(100) cm	6.1 枚	2.280(100) g	26(124) cm	6.0 枚	5.990(263) g	24(114) cm	6.6 枚	6.410(281) g

(注) 供試品種 ニューアジア 収量は1㎡当り

表5-6 冷水循環法とワケギの生育・収量

植付時期	標準区			連続循環区			交互循環区		
	草丈	分けっ数	収量	草丈	分けっ数	収量	草丈	分けっ数	収量
6月1日	38 cm	11.9 本	1.390(100) g	44 cm	13.6 本	1.930(139) g	45 cm	12.0 本	1.760(127) g
15日	41 cm	11.0 本	1.450(100) g	43 cm	10.5 本	1.480(102) g	44 cm	10.9 本	1.710(118) g
7月2日	48 cm	8.2 本	1.710(100) g	45 cm	7.3 本	1.610(94) g	49 cm	8.8 本	1.940(113) g
15日	45 cm	7.3 本	1.720(100) g	46 cm	7.8 本	2.260(131) g	50 cm	7.5 本	2.050(119) g
8月1日	43 cm	8.6 本	1.430(100) g	45 cm	9.5 本	1.620(113) g	51 cm	11.2 本	1.920(134) g

(注) 供試品種 農試晩生1号 収量は1㎡当り

花数に処理間に差は認められなかった。

収穫個数をみると連続循環区で9%、交互循環区で11%多くなったが、総重量にはほとんど差がみられなかった。品別別収量は標準区が250g以上の大果が多くなっているが、100g以上の果数でみると冷却区が両区とも多かった。地温冷却により尻腐果の発生は少なくなる傾向はみられたが、奇形果、裂果の発生には一定の傾向は認められなかった。

時期別収量では地温冷却により7月中の収量は多くなるが、8~9月には低下傾向にある。この原因は明らかでないが、とくに連続循環区の低下が目される。これは肥培管理によるなり疲れによるものか、あるいは遮光に加えて地温低下による影響が明らかでない。

3) 軟弱野菜の生育, 収量

ミツバ; 生育は地温低下により、促進され、草丈は標準区に比較して連続循環区、交互循環区ともに10~20%伸長がすぐれた(表5-4)。連続循環区の5月22日~7月5日の収量が低いのは、施用した堆肥が未熟であったのが原因で、このため葉色も薄く肥切れ状態を観察した。

収量は交互循環区は標準区に比較して草丈の伸長もよく、全期間とも13~80%の増収となった。

ハウレンソウ; 播種は催芽まきとした。発芽後の生育

地温冷却区がよく、連続循環区と交互循環区の比較では、地温低下のやや大きい連続循環区の生育がよかった。この傾向は8月5日まきのように高温期播種のもので差が大きくなった。原因は高温のため標準区に立枯性の病害が多発したことによる減収と思われる。(表5-5)。

ワケギ; 試験区による萌芽の差はなかったが、その後の生育は地温冷却区がよかった。収量は連続循環区の6月15日と7月2日植のものに異系統が混在し、生育のおくれが認められた外は、地温冷却により13~39%収量が多くなった(表5-6)。

4) 地温冷却のための電力量

地温冷却のための消費電力量は表5-7に示す。ベツト面積90㎡当り合計2,790kwhであった。本試験の吸熱効率向上のため行った交互循環と連続循環の冷却比率は53:47であり、これから試算すると連続循環区は0.5kwh/㎡day、交互循環区は0.28kwh/㎡day、の消費電力となった。

3. 考 察

トマトの地温を制御して生育におよぼす影響をみた実験はWent²⁵⁾、Calvert²⁾らの多くの報告がある。Went、Calvertは最低地温をそれぞれ15.5、13.5℃に設定して、

高地温と比較した結果から、地温の生育、収量におよぼす影響は大きいとしている。

堀¹⁰⁾らは人工気象室を用いた実験でトマトでは気温28—13℃(昼28—18℃, 夜23—13℃)地温28—13℃を組合せた条件で試験し、18℃以上23℃までの地温では生育はもっぱら気温に左右され、地温による差は小さく、33℃になってようやく葉の生育量が低下しているが根量は変わらず、地温に対しては他の野菜に比べて鈍感であるとしている。地温による生育反応は気象条件により左右されることは上述したとおりであるが、藤井ら^{7,8)}、加藤¹⁵⁾の試験によるといずれも気温が低く、地温が高い場合にはもっともよい生育を示す結果を得ている。

しかし、これらの試験の多くは適温から低温限界の範囲で検討を加えたものが多い。高温限界については堀ら¹⁰⁾の実験により昼夜気温の28~23の場合33℃の地温で果実の尻腐れ症状がきわめて高率に発生し、23℃の地温ではあまり発生をみず、昼夜気温が23~18℃の場合は地温が高くても低率の発生にとどまっていることを報告している。

本試験は夏期施設内の最高気温35~40℃, 最低平均気温20~23℃, 地温も最高が28~30℃, 最低地温25℃の作物生育にとって不適当な環境下で、ヒートポンプによる地温低下を図りトマトの生育収量におよぼす影響をみたものである。その結果、循環パイプの多目的利用で約15℃の冷水を通水することにより、パイプを中心にした地下10cmの狭い根群域を6月下旬~9月中旬にかけて3~4℃低下することができた。地温低下によるトマトの生育、開花時期、開花数などには影響が認められなかったが、大果数の増加、果実肥大の促進効果が認められた。根群分布をみると根量は冷却用パイプの埋設位置10cmまでの根量は多くなっている。しかし、下層の根量には差が認められなかった。

また、マルチングによる被覆効果をみると黒ポリマルチにより、地温低下は裸地より少なく、地温は高めに経過したが、収量は多くなっている。この原因は植物体の繁茂した状態での高温下では、地温より土壤水分の変化が少なくなることにより、生育・果実肥大に好結果をおよぼしたものと思われる。

マルチングを行った場合には土壤水分の土面蒸散を抑制し、土壤水分の変化が比較的少ないことは明らかにされているが位田⁴⁾、田辺^{33,34)}、桐村¹⁶⁾らの夏期高温時におけるトマトに対する土壤温度、土壤水分におよぼす影響をみた結果では、土壤温度は-10cm以下で裸地とほとんど差のないこと、また、土壤水分の変化が少なくなる

表5—7 地温低下のに必要な消費電力

月	運転 日数 日	ヒート ポンプ kwh	循環 ポンプ kwh	合計 kwh	1日当り 必要電力 kwh
6	5	106.2	30.0	139.2	27.84
7	31	639.98	204.6	844.58	27.24
8	31	909.70	204.6	1,114.30	35.95
9	20	560.10	132.0	692.1	34.61
計	87	2,215.98	574.2	2,790.18	32.07

(注) 冷却ベツト面積連続循環30m², 交互循環60m²

ことを報告している。

ミツバ; 生育適温^{1,6,24)}は10~20℃とされており、夏期施設内の高温条件下では生育抑制が起きるものと考えられる。5月末から9月中旬までの高温期は、地温低下によって生育は促進され、病害の発生も少なく、増収効果がみられた。

地温低下法の違いでは連続循環より交互循環法によるものが多収となったが、地温低下は連続循環区の方が大きいことから考えて、土壤水分など他の条件による収量差と推定され、連続循環と交互循環による生育収量に差はないものと考えられる。

ハウレンソウ; 生育適温^{6,11)}は10~20℃とされている。門田¹⁸⁾が禹城を供試して根の伸長と温度の関係を調査した結果、根の伸長最低温度は0℃, 最適温度24℃, 最高温度34℃となっている。高温期に栽培すると土壤伝染性病原菌による病害の発生が多くなることが知られている。

地温低下の条件下で出芽は良好となり、草丈の伸長もよくなった。生育は地温低下した場合は揃いがよく、1株当たりの重量も重くなった。標準区は8月は種では土壤病原菌による病害が多発し、単位面積当たりの収量は1株重量の増加率よりさらに大きくなり、地温低下による増収効果が認められた。

ワケギ; 夏期高温、長日条件下で鱗葉形成を行い休眠する^{13,14)}。一般に栽培は8~9月に植付け、初秋から冬にかけて栽培する。6~7月植の栽培は萌芽までに多くの日数を必要とし、揃いも悪く、生育のおくれは高温長日条件下での栽培となるため、再び鱗葉の肥大が始まり、茎葉の伸長が停止し、商品性のあるワケギ栽培は困難とされていた。

これに対して種球を30℃で20日間高温処理して植付けると夏期高温時の栽培が可能となるが、地温を下げるこ

とにより生育が促進され、1株重が重くなり増収となった。地温低下法のちがいでによるワケギの生育にははつきりとした差はなく、省エネルギーにつながる交互循環冷却が適するものと思われる。

Ⅶ 総合考察

夏～初秋の栽培では高地温が生育に悪影響をおよぼしている場合が想定され、とくに施設内で茎葉が茂ってくると地温上昇が抑制されるが、茎葉の茂らない場合は40℃以上になることがしばしばあり高温障害が起こる。地温の冷却と生育反応、ならびに実用の可能性についての検討が進められている。位田⁹⁾は夏期高温で暖地では栽培困難なセルリーを井戸水を鉄パイプに通水して床に埋設し、地温低下をはかったビニールハウスで栽培したところ、深さ10cmの地温は7月上旬～8月上旬の平均地温は無通水区で29.6℃であったのに対して、通水区は23.2℃で約6.4℃低下した。8月上旬の無通水区のものは商品価値はなかったが、地温低下区は品質のよいものを得ることができたと報告している。

大型ガラス室内に地中加温用パイプを用いて冷水を循環させ夏期における培地の昇温防止効果を試験した高田³²⁾らの報告では、水温20～23℃の通水により地下7cmの床地温は無通水区にくらべて3～5℃低く経過し、循環を停止すると急激な地温上昇がみられた。この場合、通水パイプの上3cm(地表下12cmの深さ)の地中熱伝達量は通水区で大きく、最大0.09ly/minとなっており、かなりの熱量がパイプ方向に流れてくることがうかがわれる。通水による水温上昇は約1℃で熱交換量は1ベット(80cm×22cm)当たり1時間に183～284kcalで㎡当たりでは10～16kcalとなった。

本試験のヒートポンプによる冷水交互循環(水温15℃)で単位吸熱量は約5.4～7.1kcal/m.h℃で、高田らの試験結果を循環パイプの単位吸熱量当たりしてみると4.15～6.4kcal/m.h℃となり近似した数値となった。

実用化のため考案した交互循環方式²⁸⁾と蓄熱水槽を組合せることによりヒートポンプの運転効率は向上し、2.5kwの能力で施設規模1,000㎡に利用可能であることが明らかになった。

また、遮光資材による昇温抑制効果を期待した寒冷紗の内張りは、トマトのように光に対して鋭敏に反応する野菜では、内張りによる日射量の減少は栽培環境としては不適當^{17,29)}と思われる。このことについて横井^{29,37)}らは遮光資材の内張りによる昇温抑制効果の小さいことを

報告している。施設内では茎葉繁茂により地上到達日射量は著しく減少⁶⁾し地温上昇が抑制されることから、内張りによる遮光、昇温防止効果は期待できない。

冷水循環による地温低下は循環パイプを中心に直径10cm程度の狭い土壌域であるが、この程度の地温低下によりトマトならびに軟弱野菜の生育促進に効果が認められた。今後さらに経済的な適作物の選定により、ヒートポンプの施設への利用が期待できるものと思われる。

Ⅷ 摘要

ヒートポンプの特性を利用して夏期高温時に地温低下をはかり、施設の夏期利用技術の確立のため1973年～76年におたり試験を行った。

1、ハウス内への平均入射率は34～43%と悪く、この場合の単位当たり日射量は140～187kcal/m²hであった。

この値は裸地における数値で、作物繁茂により地面に到達する光線量は相当量減少するものと推定される。

2、作物生育中の日射による土壌の温度上昇比率はおよそ6～10%程度で裸地の比率15%に比較して小さい値であった。

3、循環水温差による地温低下は水温7℃で地温低下が大きく、冷水循環による地温低下の範囲は、循環パイプを中心に直径10cm程度と非常に狭い範囲であった。また、マルチングによる温度低下に対する遮光効果が大きく、黒ポリマルチよりシルバーマルチの効果が大きかった。

4、地温低下の効率向上を図るための、交互循環方式は土壌条件や日射取得などに関連して好適循環サイクルを採用することにより、地温低下効率を一層高めることが期待できる。

5、交互循環法の冷水循環サイクルと吸熱量の関係は冷水温度10、15℃ともに45分より、15分サイクルの交互循環法が吸熱量は高まる傾向がみられた。

6、ヒートポンプの効率的な運転をするため、チラー型(2.5kw)に5㎡の蓄熱水槽を設置して検討した結果、夜間蓄熱して日中二次側ベットに冷水循環するのがよいことがわかった。

7、交互循環法の場合、面積比率が2:3、2:4の範囲内では異なる面積の地温低下は蓄熱水槽を使用することにより、地温差は生じなかった。

8、地温低下により栽培したトマトの開花時期、開花数には差が認められなかったが、個数で標準区の裸地に対して、冷却区の裸地の2本配管区で26%、4本配管区

では22%，重量では2本配管区の裸地で30%，4本配管区の裸地で46%の増収となり，これは上物果の増加によるものであった。

9，トマトの収量とマルチの効果では，マルチの効果が大きく，特に黒ポリマルチの被覆効果は大きかった。

10，地温低下によるワケギ，ホウレンソウ，ミツバ，などの軟弱野菜の生育は促進され，草丈の伸長，重量ともに良好で，1～2の例外を除き増収効果が認められた。

11，地温低下のための使用電力量は交互循環と連続循環の冷却比率53：47の場合，これから試算すると連続循環区0.5kwh/m²day，交互循環区0.28kwh/m²dayの消費電力量となった。

引用文献

1) 秋谷良三編：蔬菜芸園ハンドブック。養賢堂682, 704.

2) CALVERT A.: 1956. The influence of soil and air temperature on cropping of glasshouse tomatoes. *Jour. Hort. Sci.* 31 : 69-75.

3) CARPENTER W. J. and WILLIS W. W.: 1957. Comparison of low pressure mist, atomized fog, and evaporative-fan-and pad systems for greenhouse colling and plant response. *Proc. Ame. Soc. Hort. Sci.* 70 : 490-500.

4) 位田藤久太郎：1961. 野菜の施肥と土壌，朝倉書店 90—96

5) ————：1969. ハウス栽培の生理障害，農文協 17—18.

6) 稲川利男・宮瀬勇：1943. 蔬菜種子の最低，最適，最高発芽温度。農及園18 763.

7) 藤井健雄・伊東正・推名不二男・湊莞爾：1962, 果菜栽培温度に関する研究。(1) トマト，キュウリの育苗における気温，地温の影響について。千葉大園学報10 : 59—70.

8) ————：1962. 果菜栽培温度に関する研究。(2) ビニールハウス定植時の気温，地温がトマト，キュウリの発育に及ぼす影響。千葉大園学報10 : 71—79.

9) 藤井利重・町田英夫：1962. ファン，アンド，パッド方式による冷房ガラス室の冷却効果について。園学雑誌30(4) : 371—376.

10) 堀裕・新井和夫・細谷毅・小山田光男：1968. 培地温と気温の組合せが野菜の生育ならびに養分吸収に及

ぼす影響。I キュウリ，トマト，カブ，インゲンに関する実験。園試報告A7 : 187—214.

11) 平岡達也：1968. ホウレンソウの周年栽培と品種。農耕と園芸別冊，葉根菜の品種と栽培 誠文堂 150—154.

12) 林秀夫・米村浩次：1965. 夏期における温室簡易冷房に関する試験。(第1報) 屋根散水およびファンアンドパッド方式の効果について。愛知園試研報3 : 81—88.

13) 長谷川繁樹・吉田隆徳・沖森當：1979. ワケギの栽培学的研究。第1報 生育特性と鱗茎の形成肥大について。広農試報告41 : 51—58.

14) ————：1981. ワケギの栽培学的研究。第2報 休眠覚醒におよぼす高温処理の影響について。広農試報告44 : 53—62.

15) 加藤徹：1964. 果菜育苗中の地温と苗の生態との関係。農及園39 : 1135—1136.

16) 桐村義孝・西田典行・藤原辰行・浜田国彦：1968. 園芸作物に対するポリマルチング栽培に関する研究(第1報) 夏季における土壌環境と果菜類の収量。兵農試報16 : 81—84.

17) 北野辰行・西田典行・浜田国彦：1965. 園芸作物における寒冷紗の利用 II 日覆時間が小かぶの生育および品質に及ぼす影響。兵農試研報13 : 69—70.

18) 門田寅太郎：1959. 蔬菜の幼根の生長に対する主要温度の研究。高知大研報8(9) : 1—95.

19) 神原嘉男・田中大三・鈴木茂夫・西野寛：1978. 遮光および細霧冷房が施設内微気象に及ぼす影響。野菜試験成績概要 東海・関西 58—59.

20) ————：1978. 遮光および細霧冷房がトマトの生育，収量に及ぼす影響 野菜試験成績概要 東海・関西 66—67.

21) 川勝義夫：1968. 施設の栽培環境管理に関する研究 第3報 夏季晴天日におけるパッドアンドファン方式ガラス室の冷却効果について。園学中四国支部会要旨.

22) 琴谷稔・染田保・矢吹万寿：1968. 送風式冷房装置によるガラス室冷房試験。大阪農七研報5 : 19—24

23) 三原義秋・古牧弘：1972. 温室の細霧冷房 (Fog and Fan) 法の実施例について。農業気象28(4) : 231—236.

24) 増井貞雄・岩見直明・沢地信康・西垣繁一：1971. 軟弱，軟化，つまもの野菜。家の光協会.

25) 中川行夫：1969. 農業構造物の環境調節に関する

- 研究. (1) パット, アンド, ファン式による夏のガラス室の冷房. 農業気象22(4): 143—148.
- 26) 中原孫吉: 1972. 畦面被覆による地象環境の調節. 農及園47(9): 1233—1238.
- 27) 岡山農試: 1970. 地中加温および冷房に関する試験. 岡山農試野菜試験成績書.
- 28) 沖森當・吉田隆徳・長谷川繁樹・道下数一: 1976. 交互循環による地中加温法に関する研究. 第1報 土壌中における熱拡散と加温効率. 広農試報告37: 31—44.
- 29) 佐藤庄五郎: 1967. 黒寒冷紗による温室の遮光防曇とその効果. 農及園42(6): 923—926.
- 30) 玉井虎太郎: 1965. シャワー式冷房装置とその効果. 農及園40(5): 749—754.
- 31) 高田宗男・丸山靖志・田中宗三・田中英雄・鴨田福也・山本雄二郎: 1972. 大型温室によるそ菜の高効率高生産体系確立試験. (1) ミスト冷房における大型温室の熱収支. そ菜試験成績書 (関西) 111.
- 32) ———・————・鴨田福也・山本雄二郎: 1972. 大型温室によるそ菜の高効率高生産体系の確立試験. (3) 地中加温用パイプ通水による培地の昇温防止.

そ菜試験成績概要書 (関西) 113.

- 33) 田辺賢二・佐藤一郎: 1971. そ菜の栽培におけるポリエチレンマルチングの利用に関する基礎的研究. 第1報 ナスの生育, 収量および土壌条件におよぼす影響. 鳥取砂研報10: 6—14.
- 34) 田辺賢二・松田照美・佐藤一郎: 1973. そ菜の栽培におけるポリエチレンマルチングの利用に関する基礎的研究. 第2報 植生条件下における地温効果. 鳥取大農研報XXV: 147—154.
- 35) WENT, F. W.: 1944. Plant growth under controlled condition. II Thermoperiodicity in growth and fruiting of the tomato. Amer. Jour. Bot. 31: 135-149.
- 36) 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: 14—20.
- 37) 横井邦彦・山本英雄・黒住徹: 1975. シャ光の昇温抑制効果, そ菜試験成績概要 (関西)
- 38) 米村浩次・林季史・岡秀樹: 1966. 夏期における温室簡易冷房に関する研究 (第2報) ファンパッド方式についての2, 3の検討. 愛知園試研報4: 85—89.

Study on the Improvement of Operation Efficiency of Soil Cooling by Heat Pump for Establishment of Cultivation under Structure in Summer

Ataru OKIMORI, Takanori YOSHIDA, Shigeki HASEGAWA
and Kazuichi MICHISHITA

Summary

Soil cooling by effective operation of heat pump were examined from 1973 to 1976 to establish the cultivation under structure in summer.

The results obtained were summarized as follows;

1. Average transmissivity of solar radiation into house was about 34-43 % of global solar radiation, when the measured value of solar radiation became 140-187 Kcal/m²h. This value was seemed to decrease by covering of plant.
2. The rate of soil temperature raising by isolation became 6-10 % in growing period and that rate was less than that of bare ground, viz. 15 % of global solar radiation.
3. Soil temperature exceedingly went down at 7 °C circulating water. Further mulching made soil temperature fallen down greater than non-mulching did, particularly the effect of mulching was much better by silver polyethylene film than by black one.
4. Extent of soil cooling by cold water circulation was limmited within diameter about 10 cm of pipe's center.

5. Intermittent circulation system was seemed to be effective to improve the soil cooling efficiency and the efficiency was advanced by proper circulation period which was considered the soil condition and transmissivity of solar radiation.

6. Heat absorbtion was increased in the condition of 15 minute circulation peried more than in that of 45 minute period at both 10 °C and 15 °C water temperature.

7. Chiller type heat pump (ability: 2.5 KW) which was equipped 5m³ volum water tunk brought improvement of operation efficiency, namely the efficiency raised when water in tunk was cooled at night and circulated in secondary soil bed at day-light.

8. In intermittent circulation system, difference of soil temperature did not appear by using water in tunk in case of dividing circulation area in the ratio 2 : 3.

9. Flowering and number of flower were not different between cooling treatment and non-cooling one, but in soil cooling treatment harvesting number increased 26 % in two pipe arrangement treatment and did 22 % in four pipe arrangement one. Further yield increased 30 % in the former and 46 % in the latter as a result of increase of choice quantity goods.

10. Mulching brought arise in yield, especially black polyethylene film was best of all.

11. Growth of nanking shallot (Japanese; wakegi), spinash and Japanese honewort were acceelerated in plant height and weight by soil cooling, so that yield increased in comparson with non-cooling treatment.

12. Electricity for soil cooling was amounted 0.5 kWh./m²day in continuous circulatton treatment and 0.28 kWh./m²day in intermittent circulation system when the condition of heat absorbtion ratio in continuous circulation operation to intermittent was in 47 : 53.