

## 強制換気温室における細霧冷房法

山本英雄・川島信彦

## Fog and Fan Cooling System in Greenhouse

Hideo YAMAMOTO and Nobuhiko KAWASHIMA

## 緒 言

最近の温室は労働生産性を高め、経営規模拡大を図るために大型化され、耐用年数の長い鉄骨による固定化が進んできた。当然、多額の投下資本の回収を早めるため、施設の周年にわたる効率的利用が叫ばれるようになってきた。しかし、夏期には換気装置だけで室温を外気温なみに維持することは不可能に近く<sup>2,4)</sup>、しばしば高温になり過ぎて作物に高温障害を生じ、また室内で作業する人の疲労を大きくしている<sup>7)</sup>。

そこで、温室の夏期における生産性の向上と、作業環境の改善のため、簡易な冷房装置が要望されてきた。これまでも夏期における簡易な冷房法として、パッド・アンド・ファン法<sup>1,4,6,8,13)</sup>、ミスト・アンド・ファン法<sup>14,17)</sup>シャワー・アンド・ファン法<sup>3,15,16)</sup>等が試みられてきたが、このような換気扇の吸気口において空気を冷却する方式は、大型施設においては冷房効果や保守および経費の点で問題があり、一般にはあまり普及していない。

一方、奈良農試では高温期のトマトについて、体内水分を保ち、葉温を下げ、同化を促進する等の目的で、ミストシリンジ法を実施し、その効果を認めたので<sup>5)</sup>、大型施設内でもミストシリンジ法を試みたが、設備費や室内作業への障害ならびに土壌水分管理上の問題のために実用化するには至らなかった。このような時に、フォッグ・アンド・ファン法すなわち細霧冷房法が開発され<sup>10)</sup>、有望な技術として認められた。そこで、実用的な使用基準を得るために、強制換気温室において、噴霧量、換気量、植生状態の異なる場合の冷房効果を比較検討し、併せて施工上の知見も得たので報告する。

## 施設および方法

## 1. 温室の概要

調査には奈良農試内にある間口14.4m奥行46mの2連棟で、南北棟のガラス室(面積約660㎡、容積約1790㎡)を使用した。この温室は強制換気構造で天窓・側窓はな

第1表 処理と調査条件

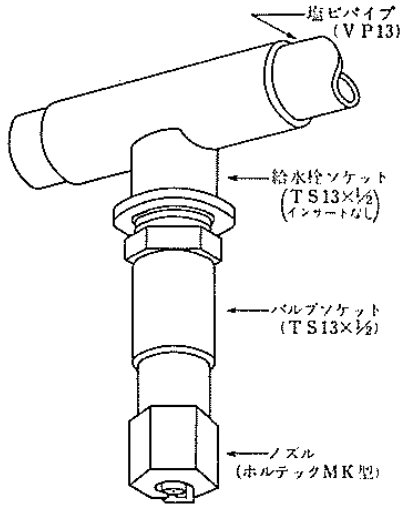
処 理	調 査 年・月・日	外気温 (℃)	日射量 (cal/cm <sup>2</sup> ・min)	ノズル 型 個数	平均噴霧量 (ℓ/min・a)	換気扇 (台/330㎡)	推定換気回数 (回/時)	LA I
多量噴霧	1973, 9, 4	29.0	0.7	MK-1 20	1.27	5	94	0.04
少量噴霧	1973, 9, 1・8	30.0	1.1	MK-0 20	0.73	5	94	0.04
多量噴霧	1974, 6, 16	31.5	1.0	MK-1 20	1.27	5	94	1.92
中量噴霧	1974, 6, 20	29.5	1.0	MK-1 10	1.0	5	94	1.92
少量噴霧	1974, 6, 19	29.5	1.1	MK-0 10	0.73	5	94	1.92
多量換気	1974, 8, 22・23	31.5	1.0	MK-1 10 MK-0 10	1.0	4	75	0.01
少量換気	1974, 8, 30 9, 3	32.0	0.8	MK-1 10 MK-0 10	1.0	2	38	0.01
裸 地	1973, 7, 6~8	31.0	1.1	MK-0 20	0.73	5	94	0.00
生育初期	1973, 9, 1・8	30.0	1.1	MK-0 20	0.73	5	94	0.04
収 穫 期	1974, 6, 19	29.5	1.1	MK-0 20	0.73	5	94	1.92

注) 測定日が同じ場合は同じデータを比較のため利用した。

く、北表面に約13㎡の吸気口と、南表面に羽根径95cmの換気扇（風量約280㎡/min）10台が取付けられている。この温室の連棟の谷にポリエチレンフィルムを張って、東西の2棟に分け、第1表に示した処理条件下で、片方の棟を細霧による冷房区とし、他方の棟を細霧冷房しない強制換気のみを対照区とした。

2. 細霧冷房設備の概要

配管は1棟（330㎡）に対し、南北に2列を2.3m間隔で配置し、地上2.8mで通路に取付けた。ノズルは4m間隔で、1列に10個、330㎡あたり20個を第1図のようにノズルを下向きにして、第2図に示す位置に取付けた。なお、第2図には東棟だけの冷房設備を図示したが、西棟にも同じ設備があり、2回以上反復調査のでき



第1図 細霧ノズルの取付け状態

た場合は対照区と冷房区を入れかえて調査し、測定精度を高めるよう努めた。ノズルを温室全体に分散したのは、吸気口から排気口に向かって空気が移動するに従って温度が上昇するのを打消し、温室内の気温を均一にすることと、作物へのごく軽いシリンジ効果もねらったためである。

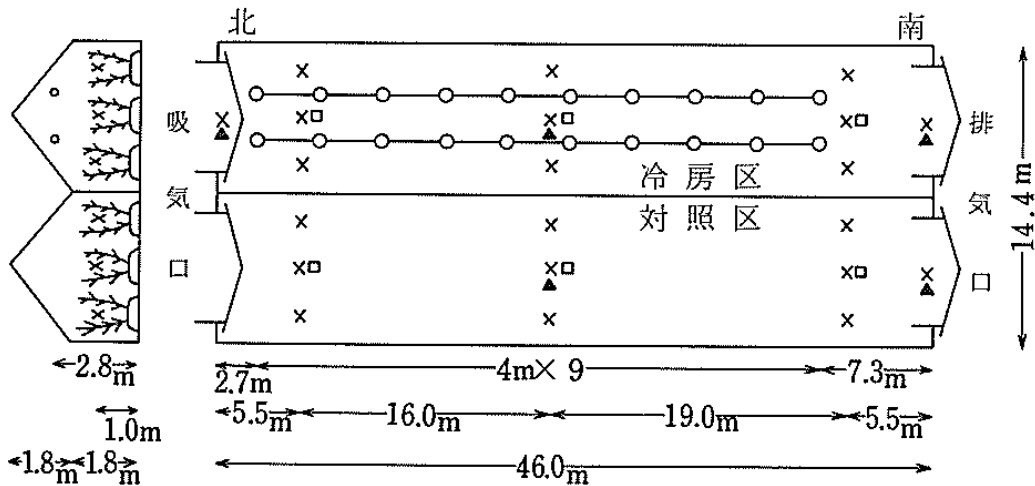
ノズルはホルテックMK型（プラスチック製ディフレクションノズル）の2種を用い、吐出口径はMK-0型（細霧用）が0.25mm、MK-1型（シリンジ用）が0.36mmで、噴霧量の実測値は圧力10kg/cm<sup>2</sup>において、それぞれ120ml/minおよび210ml/minであった。

ポンプは動力噴霧機を用い、脈動を防ぐため吸水側から少量の空気を吸い込むようにし、圧力は10kg/cm<sup>2</sup>に調整した。

3. 処理と調査条件

細霧冷房の使用基準を明らかにするため、噴霧量、換気量、植生状態を異にした場合の冷房効果を第1表に示した条件下で調査した。なお、噴霧量の比較は本来MK-0型ノズルの設置個数を変えて調査するのが望ましかったが、ここでは、口径の大きいMK-1型ノズルを利用して噴霧量を変えた。これは、ノズルを増すことが経費や保守の点から実用装置として問題があると判断したためと、前述のとおりトマトについてはシリンジの効果が認められていることを考慮したためである。このため噴霧された霧滴の粒径分布は必ずしも同じになっていなかったと思われる。

温室内で栽培されたトマトは、8月中旬に定植し、翌年6月下旬まで収穫する長期生産トマトで、第2図に示



×：温度計 ▲：温度計(湿球) □：蒸発計 ○：細霧ノズル

第2図 細霧冷房設備および観測器具の配置

したとおり1棟に3畦をとり、2条植えて、各調査時期の葉面積指数(LAI)は第1表のとおりであった。

4. 観測方法

観測器具の設置場所は第2図のとおりで、温度は地上1mで15~22点を、湿度は吸気口、中央、排気口の3か所について乾湿球温度をそれぞれニッケル抵抗式自記温度計に記録した。

蒸発量は地上1mに直径20cm、深さ10cmの塩ビ製蒸発計を、生育初期の噴霧量比較では吸気口付近、中央、排気口付近の3か所に、他の調査では温室の中央の1か所にそれぞれ設置して重量変化を計測した。

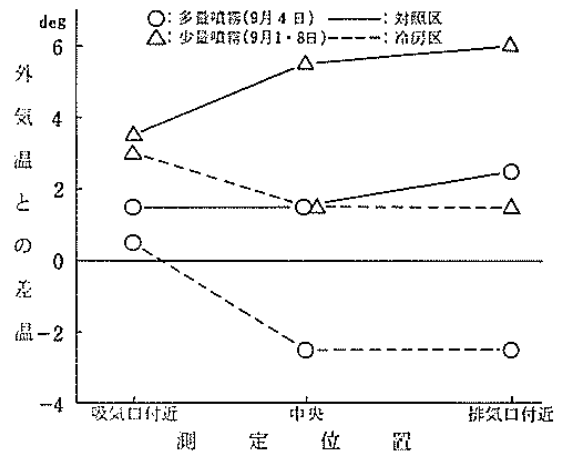
トマト苗の蒸散量については、生育初期の噴霧量比較時のみ調査し、鉢植えの苗それぞれ5本について鉢をポリ袋で包み茎葉だけを気中に出し、温室中央に置いて重量変化を測定した。

調査結果

観測結果は晴天日の昼間2~4時間について平均値を求めて整理した。温度については、同じ棟内の東、中央、西の3点間の差は1~2°C以内で、冷房区と対照区に特に差は認められず、第2図に示した配管で温室全体にはほぼ均一に霧を分散させることができた。そこで、3点間の温度を平均し、吸気口付近、中央、排気口付近の3か所の温度として外気温との差温を求めて図示した。なお、温度および湿度等を比較している図・表は処理により測定日が異なっているためそれぞれの対照区に差があり、冷房の影響はそれぞれの日の対照区との差として表

われている。4.5°C,多量噴霧区で約5°C低くなった。その時の湿度は第2表のとおりで、多量噴霧区でもさほど高くなっていないが、温室中央から排気口にかけてはかなりの量の水滴が地面まで降下し、トマトの葉から水が滴り落ちる状態となり、温室内での作業は短時間しかできないと思われた。第2表に示した蒸発量の調査結果によれば、吸気口から排気口側へと進むにつれて蒸発量が減少したが、日射量に差があったためか噴霧量による差は明らかでなかった。しかし、トマト苗の蒸散量には噴霧量による差が認められた。

次に、収穫期における調査結果を第4図と第3表に示した。噴霧量が多くなるに伴って冷房効果が高くなる傾向を示したが、水滴の降下量を葉面から水が滴らない程度とするためには中量噴霧区が実用限度と思われた。換気量が多く、収穫後期の調査であったため、作物からの蒸散による冷房効果があり、対照区でも吸気口側と排気



第3図 噴霧量と温室内気温(生育初期)

第2表 噴霧量と温室内湿度および蒸発・蒸散量(生育初期)

処 理		相 対 湿 度 (%)			蒸 発 量 (mm / h)			蒸 散 量 (g/株・h)
		吸気口	中 央	排気口	吸気口付近	中 央	排気口付近	
多量噴霧	対照区	59	22	60	0.4	0.3	0.3	21
	冷房区	59	74	83	0.4	0.2	0.2	7
少量噴霧	対照区	54	38	49	0.5	0.5	0.4	18
	冷房区	54	47	65	0.5	0.4	0.3	15

われている。

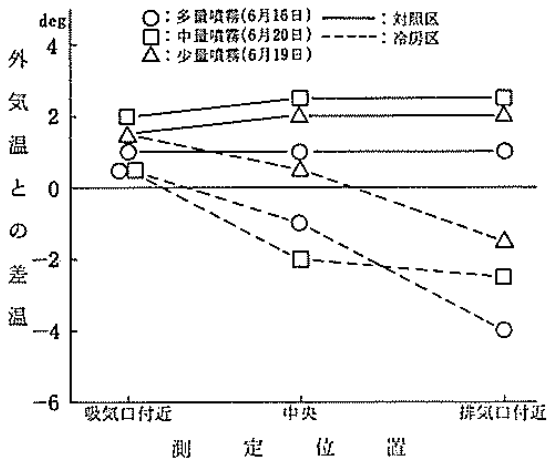
1. 噴霧量について

生育初期における調査の位置別温度は第3図に示したとおりである。測定日の日射量が異なっているため比較しにくいですが、それぞれの冷房効果のみに注目すれば、排気口付近では冷房区の方が対照区より少量噴霧区で約

口側の温度勾配がなく、冷房区では普通とは逆に排気口側が低温となった。噴霧量の増加に従って湿度がやや上昇する傾向を呈したが、相対湿度は最高でも80%以下でむし暑く感じることはなかった。

2. 換気量について

温室内の気温は第5図のとおりで、多量換気区と少量



第4図 噴霧量と温室内気温(収穫期)

第3表 噴霧量と温室内湿度および蒸発量(収穫期)

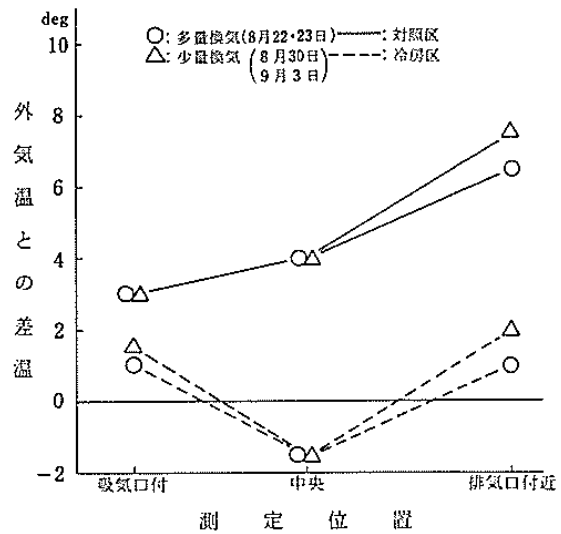
処 理		相対湿度(%)			蒸 発 量 (mm/h)
		吸気口	中 央	排気口	
多量噴霧	対照区	45	45	45	0.6
	冷房区	45	61	73	0.5
中量噴霧	対照区	56	56	58	0.6
	冷房区	56	78	68	0.4
少量噴霧	対照区	59	62	60	1.5
	冷房区	59	61	60	0.5

換気区を比べると換気量の差による温度差があるだけで、冷房効果は同じ程度認められた。なお、冷房区では温室中央の温度が最も低くなっているが、これは吸気口側に排気口側より口径の大きなノズルを用いたためであろうと思われる。また、少量換気区と多量換気区の温度差が小さいのは測定日の日射量に差があったためである。温室内の湿度および蒸発量は第4表のとおりで、少量換気区の方が多量換気区に比べ湿度の増加割合が大きく、蒸発量が少なくなっていた。

3. 植生状態について

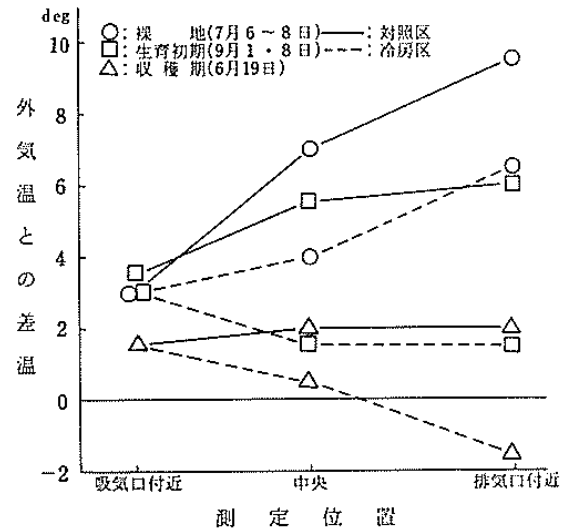
第4表 換気量と温室内湿度および蒸発量

処 理		相対湿度(%)			蒸 発 量 (mm/h)
		吸気口	中 央	排気口	
多量換気	対照区	60	48	49	0.7
	冷房区	60	68	72	0.3
少量換気	対照区	53	42	50	0.5
	冷房区	53	72	72	0.3



第5図 換気量と温室内気温

異なる植生状態において、細霧冷房をした場合の温室内温度を第6図に示した。裸地や生育初期にくらべ、トマトが繁茂した収穫期では冷房効果がやや低下した。また、温室内の吸気口側と排気口側の温度勾配にも植生状



第6図 植生状態と温室内気温

第5表 植生状態と温室内湿度および蒸発量

処 理		相対湿度(%)			蒸 発 量 (mm/h)
		吸気口	中 央	排気口	
裸 地	対照区	60	—	46	—
	冷房区	60	—	57	—
生育初期	対照区	54	38	49	0.5
	冷房区	54	47	65	0.4
収 穫 期	対照区	59	62	60	0.5
	冷房区	59	61	60	0.5

態による大きな変化がみられ、土壌や作物からの蒸発散量が関与していることがうかがわれた。しかし、第5表に示したとおり、湿度や蒸発量の測定結果では植生状態の差による蒸発散量の差は明らかとはならなかった。

なお、以上の比較調査とは別に施工上の留意点もいくつか見出された。

まず配管に普通の塩ビパイプ(VP)を用いたところ、夏期に土壌消毒のため温室を密閉した際に波型に曲がってしまった。このことはある程度予想されたため種々のパイプ固定法を試みたが、いずれの方法も失敗であった。パイプが垂れ下がっても実用上支障はないにしても、外観上よくないので最近では温水用塩ビパイプ(HT)を用いている。

ポンプは本報では動力噴霧機を用いたが、脈動しやすく長期間の自動運転には保守に手間を要する。実用装置としては、ローラー回転ポンプ(ハイプロポンプN-4100)が手ごろで、最近ではこれを電磁弁で水道に直結して用いている。

自動運転制御法についてはまだよい方法がない。温室内の気温で制御すると細霧冷房が始まるとすぐに気温が下がるため、運転・停止を繰り返す。そのたびにノズルから水滴がぼた落ちするので、今のところ外気温が設定値以上でかつ換気扇が作動している場合に冷房するようにしているが、天候によっては不都合な場合も生じる。

しかし、何といっても細霧冷房法の最大の問題点はノズルにある。本報で用いたホルテックMK型は加工精度が悪く粗滴の発生が多く耐圧強度も低く、しばしば問題を生じた。この点、最近発売されたホルテック超硬Ⅲ型ノズルは大幅に改善されたが、高価になった。また、ノズルの目づまりも問題で、水道水を用い、ノズル内にもフィルターが入っているにもかかわらず一部目づまりが生じた。従って、ノズルは取り外ししやすいように第1図に示したように取付けるのがよく、霧の分散をよくするためにはノズルの位置が高い方がよいけれども、保守には不都合になる。ノズルの目づまりについて、取付け方向を上向きと下向きに変えて調査したが、大差がなく、本報のような利用方式では上向きにすると、噴霧された霧がパイプに触れて水滴が落ちるので下向きに取付けることにした。

## 考 察

以上のように、細霧冷房により温室内の気温は4～5℃低下し、外気温なみに維持することができるので、施

設内の昇温抑制方法として有望な技術と思われる。

噴霧量については1.0ℓ/min・a程度が適当と判断されたが、この調査では一般のハウスより換気量が多く、一部で口径の大きなノズルを用いた点が問題となる。もし、多量噴霧区において、すべて細霧用のMK-0型ノズルを用いたならば、水滴の落下が少なく、気化効率が上がり、より冷房効果が上がったとも考えられる。しかし、仮に水滴が大きく空中で気化せずに落下する量が多かったとしても葉面や地面から再び蒸発しておれば、結局室温は同じになると考えられる。また、霧滴の落下量についても細霧用ノズルを用いても一定割合の粗滴が発生するし、換気量が多く、室内風速が1m程度あったため、水滴が空中で浮遊しやすかった点を考え併せると、本報の結果を一般の細霧冷房に適用しても問題はないと考えられる。事実、その後県下で細霧冷房を設置した2つのケースでは、換気回数40～60回/時で、MK-0型または超硬Ⅲ型ノズルを用いて、噴霧量が1.0ℓ/min・aではほぼ適量であることを確認しており、これは三原らの報告<sup>10)</sup>とも一致する。

換気量の比較では、換気扇台数が330m<sup>2</sup>あたり2台でも4台でも同程度の冷房効果が得られた。最近のハウスの換気扇台数は10aに6台(換気回数約40回/時)ぐらいが標準となっているから十分利用できるわけで、これらのハウスでは換気能力を倍にするよりも細霧冷房をした方が容易に温度を下げるができる。

植生状態についてみると、作物の繁茂した収穫期には冷房効果がやや低下する傾向がみられたが、その影響は意外に少なかった。これは少量噴霧における比較のため、湿度の飽和点にはかなり余裕があったためかとも考えられる。収穫期に冷房した場合は吸気口より排気口側の気温が下がり、ハウス内の温度勾配はかえって増加したが、一般の換気回数40～60回/時のハウスではほぼ均一になると推察される。

一般に気化冷却法は湿度の高い日本では効率が低く、温室内が多湿になり過ぎるとされている。また、細霧冷房でも三原ら<sup>10)</sup>、宮崎総農試<sup>12)</sup>の報告では、室内の湿度が90～100%と高湿になっている。しかし、これは調査時の外気湿度が70%以上もあったことと、後述のとおり、換気量に比べて噴霧量が多過ぎたためと考えられる。高温多湿と言われる日本の夏でも湿球温度が25℃を越える日は少なく<sup>9,14)</sup>、第6表のとおり奈良農試内の気象観測所(周辺は水田)の記録でも湿度が70%を越える日はほとんどない。従って、適当な換気を行えば多湿にならずに加湿冷却をする余地は十分あるものと考えられる。

第6表 奈良農試における7～8月の晴天日の外気湿度

相対湿度	年次別日数				出現割合 (%)
	1972	1973	1974	1975	
50%未満	0	4	0	4	6
50～60%	7	19	11	23	42
60～70%	26	13	16	12	46
70%以上	5	2	2	0	6

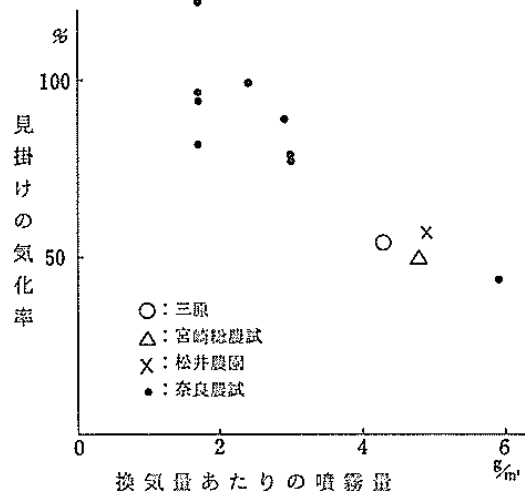
注) 日照時間8時間以上の晴天日について、11～15時の相対湿度を平均して区分

それでは温室内で噴霧された水ほどの程度気化したであろうか。噴霧水の気化量を直接測ることはできないが、対照区と冷房区の温度差をもとに、比容積の差を無視して一定とすれば、次式からみかけの気化率  $e$  (%) が計算できる。

$$e = \frac{Q \cdot Td \cdot c}{v \cdot q \cdot L} \times 100$$

- ただし Q: 換気量 (m<sup>3</sup>/min・a)
- Td: 対照区と冷房区の排気口付近の差温 (deg)
- L: 噴霧量 (kg/min・a)
- c: 比熱 (0.24kcal/kg・deg)
- v: 比容積 (0.89m<sup>3</sup>/kg)
- q: 気化潜熱量 (580kcal/kg)

本報と県下の松井農園におけるデータ、および三原<sup>11)</sup>、宮崎総農試<sup>12)</sup>のデータよりみかけの気化率  $e$  (%) を計算し、換気量あたりの噴霧量  $L/Q$  (kg/m<sup>3</sup>) との関係を探ると第7図のとおりであった。見掛けの気化率は日射量や植生状態にかかわらず、換気量あたりの噴霧量に反比例する傾向を示し、2 g/m<sup>3</sup> ではほぼ100%となるが、5 g/m<sup>3</sup> では50%に低下している。この見掛けの気化率は細霧冷房による植物や土壌からの蒸発散量の変分を含んでいるから、噴霧量の増加が即真の気化率の低下とはならない。しかし、第2表に示したとおり、細霧冷房の噴霧量が多いと作物からの蒸散が減少するから、全体の気化量は減少することになり、一定量以上の水を噴霧しても水滴の落下量が多くなったり、湿度が上昇し多湿の弊害が生じる恐れがある。葉面への軽いシリンジ効果をねらわずに気温の低下のみを望むのであれば、第7図から判断すると噴霧量は 3 g/m<sup>3</sup> 程度でよいと考えられ、日本の夏期の平均的な気象条件における細霧冷房の冷房能力は、MK-0型ノズルを使う限り、5～6℃が实用限界と考えられる。



第7図 噴霧量と見掛けの気化率

このような考え方からすれば、前述の噴霧適量 1.0ℓ/min・a は換気回数が60～70回/時の場合であって、換気回数少ない場合は0.7ℓ/min・aでも十分であろうと考えられる。

最後に細霧冷房の経済性について触れると、もしノズルに新型の超硬Ⅲ型を用い、HTパイプで配管すると、10aあたりの必要資材費はポンプを含めておよそ20万円になる。夏期の晴天日に窓換気や換気扇のみで温室内を外気温なみにすることは不可能で、矢吹の換気の式<sup>13)</sup>によれば、外気温プラス5℃以内に保つ場合でも換気扇約12台が必要となる。しかし、この場合に細霧冷房を併用すれば気温は外気温なみに低下するし、換気扇が6台でも外気プラス5℃以内にできる。後者の場合設備費が安くなり、強制換気の欠点とされている電気代も節減される。作物に対する高温障害も回避できるし、内部で作業する人に対する環境改善効果は計り知れないものがある。

### 摘 要

簡易冷房法として、夏期の温室における細霧冷房法の実用性を調査した。

1. 細霧冷房により温室内の温度を外気温なみに維持することができた。
2. 噴霧量の多い方が冷房効果は高かったが、霧滴の落下が多いため、実用的には1.0ℓ/min・a程度が適当と思われた。
3. 換気量は換気回数75回/時でも38回/時でもほぼ同

じ冷房効果が得られた。

4. 作物の繁茂する収穫期では温室内在が裸地や生育初期の場合に比べて、やや冷房効果の低下する傾向がみられた。

5. 室内の湿度は80%以下で、むしろ暑くなることはなかった。

6. 細霧の見掛けの気化率の計算によれば、換気量に対する噴霧適量は約  $3 \text{ g/m}^3$  と判断された。

ついて、園学雑 36(3): 324—332.

7. 小堀乃 1976. 施設園芸作業における環境要因について、農作業研究 26: 57—62.

8. 琴谷稔・染田保・矢吹万寿 1968. 送風式冷房装置による冷房ガラス室の気象環境、大阪農技七研報 5: 19—24.

9. 三原義秋 1972. 施設園芸の気候管理、誠文堂新光社、93.

10. ———・古牧弘 1973. 温室の細霧冷房 (Fog & Fan) 法の実施例について、農業気象 28(4): 231—235.

11. ——— 1974. 施設園芸における環境制御はどこまで可能か、農及園 49(1): 211—216.

12. 宮崎総農試 1975. ハウスの簡易冷房法に関する試験、昭和49年度農業気象試験成績書 11—23.

13. 中川行夫 1967. 農業構造物の環境調節に関する研究、(1)パッド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—147.

14. 農業電化協会近畿支部農電普及技術研究委員会 1963. MIST SYSTEMによるガラス室の冷風換気装置について、1—36.

15. 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.

16. 田中榮三郎・肥後隆明・原沢高比古・川口貢 1973. グリーンハウス用冷房装置に関する研究、(第1報)冷房装置について、農業機械学会第32回総会講演要旨 75.

17. 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.

18. ——— 1967. 農業環境調節の現状と問題点—主としてガラス室について—、農業気象 23(1): 39—46.

### 引用文献

1. 藤井利重・町田英夫 1961. 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 30(4): 371—376.

2. 藤本幸平・内藤潔・ト部昇治 1968. ビニールハウスにおける換気扇による強制換気に関する研究、(第1報)換気扇の設置基準の設定および効果について、奈良農試研報 2: 32—38.

3. 岐阜農試 1973. 新しい装置機械の試作改良、昭和47年度施設園芸の高度装置化による作業の省力化に関する試験成績書 26—30.

4. 林季夫・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.

5. 久富時男 1973. 野菜類の施設栽培における水分管理、農及園 48(3): 459—463.

6. 川勝義夫・中尾聡明 1967. 施設の栽培環境管理に関する研究、(第1報)冷房花卉温室内の気象条件に

### Summary

Authors have investigated the practicality of fog and fan cooling system in greenhouse in summer. In this system, many fog nozzles was distributed in forced ventilation house and the air was cooled by the evaporation of sprayed water. Results obtained were as follows.

1. Air temperature in the fog and fan compartment was kept almost as high as the outside air temperature, and was about  $5^{\circ}\text{C}$  lower than that of forced ventilation compartment.

2. Total volume of sprayed water was  $2.4\sim 4.2 \text{ l/min}$ , and the floor area of the compartment was  $330\text{m}^2$ . Then, the adequate volume of sprayed water per unit floor area was  $1.0 \text{ l/min} \cdot \text{a}$ .

3. The cooling effect by the fog and fan system made little difference between the

ventilation rate of 75 times per an hour and the one of 38 times per an hour.

4. The effects of cooling in different vegetation period somewhat decreased in harvesting stage.

5. Humidity in cooling greenhouse was lower than 80%, and it was not sultry.

6. To judge by the calculation of evaporation percent, the adequate weight of sprayed water per amount of ventilation was about 3g/m<sup>3</sup>.

This fog and fan system can be introduced easily and inexpensively to greenhouse.