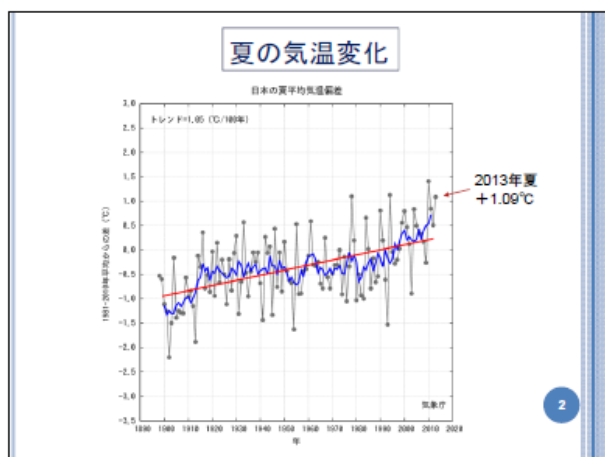


「地中熱ヒートポンプとミスト冷房による暑熱対策」

(公益社団法人) 東京都農林水産振興財団
 東京都農林総合研究センター園芸技術科
 主任研究員 岡澤 立夫 氏



東京都農林総合研究センターの岡澤立夫です。
 よろしくお願ひします。



昨年はかなり暑い夏で、観測史上4番目に暑く、1981年から2010年の夏の平均気温からも1.09°C高かったです。100年間で日本の平均気温は1°Cくらい上がっているということで、この夏の異常な高温によって、開花遅延とか花の小型化など花の品質にかなり悪影響が出ていまして、生産者は栽培に苦労しているところです。現場では、攪拌扇や遮光資材を使っていますが、極度の遮光によって、開花数が減少したり徒長したり、あるいは生育が停滞したりといった問題が生じています。高温対策として通常やられているものは、先程申し上げたとおり換気と遮光がありますが、この方法では外気温より下げるといことはできません。原理的に、外気温より同等、あるいはそれ以下に下げするには、冷房しか方法がありません。

この表は東海大の林先生がまとめたものですが、今使われている冷房方式は3つに大きく分けられるということで書かれています。



1つが、ヒートポンプとかスポットクーラーといった空調機を利用した方法です。2番目が、細霧冷房やパットアンドファンという方法です。パットアンドファンは、ハウスの片側にセルロース製のパッドを貼り、反対側に換気扇をつけて、セルロース製のパッドを濡らして強制的に蒸発冷却で冷房する方法です。また、ミスト冷房という、ミストを散布して冷房する方式があります。それから3つ目が、地下水を利用する方法ということで、これはイチゴの夜冷とかで使われているのですが、地下水を温室内のカーテンにかけて冷房するといった方式もあります。今回はこのうち、ヒートポンプとミスト冷房についてお話させていただきます。

■地中熱ヒートポンプの概要

1. 地中熱ヒートポンプ

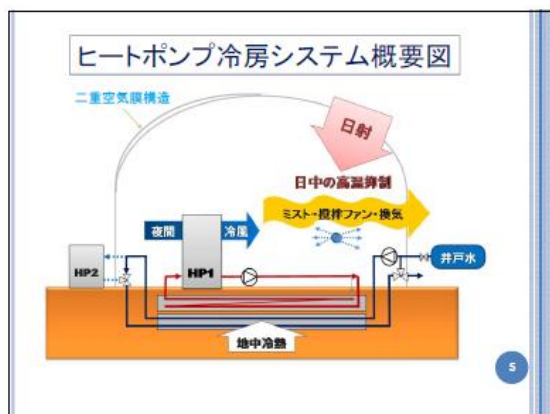
低炭素時代にむけた
自然エネルギー利用率を最大限に高める
施設栽培用ヒートポンプシステムの開発
(実用技術開発事業:平成21年から23年まで)

農研機構 農村工学研究所
山形県庄内総合支庁
宮城県農業・園芸総合研究所
新潟大学
東京都農林総合研究センター
ジオシステム(株)
(有)グリテック

4

まずヒートポンプについてですが、ヒートポンプは原油高騰とともに、全国的に導入が進んでいます。原油価格が70円を超すと、ヒートポンプの方が有利だと言われているのですが、今や100円を超えているような状況です。ただ、全国的に入っているヒートポンプは皆さんが使われているエアコンと同様に、空気を熱源としたタイプです。空気熱源の場合、寒い地域でヒートポンプを使いますと、暖房時に室外機に霜がついてしまって、デフロスト運転に入り効率が落ちることが指摘されています。地中には1年を通じて15℃から17℃という安定した温度帯がありますので、我々は、その熱を上手く利用した地中熱ヒートポンプを開発しようということで研究を進めてきています。国の「実用技術開発事業」というお金ももらいまして、農村工学研究所が中核となり研究を進めて参りました。

これがそのヒートポンプの冷房の概要図です。



ただヒートポンプといっても結局日中の暑いと

きにヒートポンプで冷房しても、太陽の負荷に対してヒートポンプの能力が足りないということがありますので、あとでも述べますが、日中はミスト冷房というのを行っています。植物体にミストが当たると病気も誘発してしまうので、今回我々は、ベンチ下にミストを設置するようなかたちでやっています。それから、ヒートポンプ自体は夜間に冷房するわけですが、ハウス下の地中はどんどん熱くなっていくということになってきます。どんどん地中が熱くなっていくと、下に熱が有限であればいいのですが、そういうわけにもいかないもので、井戸水を使って冷熱を補うというようなかたちでシステムを組んでいます。またハウスの上を、二重膜の空気膜構造にしていまして、これもあとで写真をお示しいたしますが、断熱性を高めるような構造にしています。

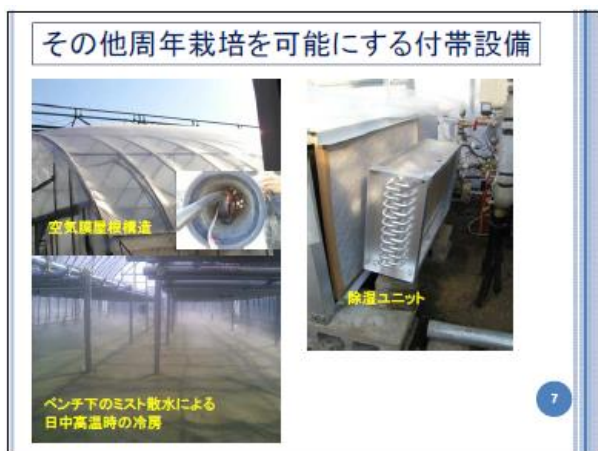
実際に使ったヒートポンプシステムの写真です。



こちらが4馬力の地中熱のヒートポンプということで、アメリカ製のヒートポンプを使っています。実はアメリカというのは一番、地中熱のヒートポンプの普及が進んでおりまして、一般家庭にも入っているような状況ですが、日本では商業用としてはもちろん、農業用としても全く入っていないような状況にあります。地中の熱を取るために、地中にパイプを埋めるのですが、これは30cmくらいの深さのところには25mmのパイプを埋めています。そこに、水等を入れて熱を取ると

いうことをしています。

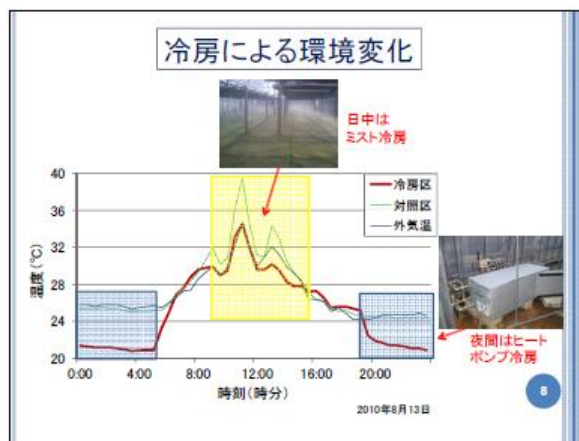
その他周年栽培を可能にする付帯設備です。



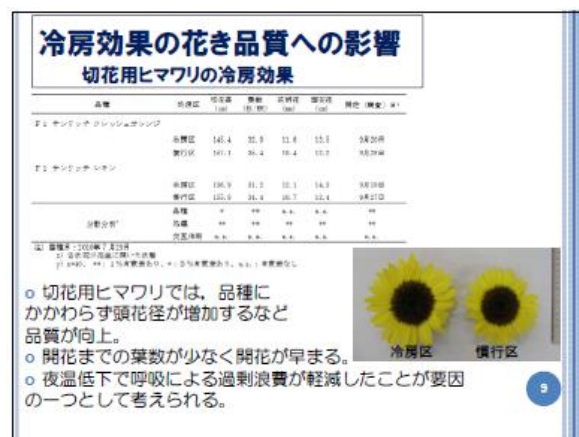
日中は、左下の写真にありますように、ベンチ下にミストを設置しまして冷房をしています。先程申し上げました空気膜構造はこの左上の写真ですが、既存のハウスのビニールの上にもう一枚ビニールを重ねて、そこにシロッコファンで空気を送り込みまして、膨らませたようなかたちになります。よく遊園地とかに膨らませたドームみたいなものがありますが、そういったかたちで屋根を膨らませることによって断熱する建物です。実はこの空気膜ハウスというのは、余談であります、これを入れただけで暖房費が2・3割減ということが分かっています。1枚ビニールがかかってしまうので、遮光も20、30%かかってしまうのですが、ビニールを2枚にただけで、あと空気をその中に送り込むことだけで断熱性が高まるということが分かっています。また、ヒートポンプを使う利点としては、冷房以外に暖房と除湿ができるといった利点があります。我々はこのシステムの中で、こういった「除湿ユニット」というのを、ヒートポンプの中の凝湿器の前面に置き、さらにこの中に冷水を通すことで、除湿をするシステムを開発しています。

■地中熱ヒートポンプの効果

実際このシステムで動かしたときの温度の変化を見たのがこのグラフです。



まず、日中はミスト冷房を行っているわけですが、外気温が34°Cくらいのときに、ハウス内のミスト冷房をしていないところは40°Cくらいまで達しています。けれども、ミストで冷房したところは、外気温と同等かそれ以下まで温度が下がっています。また夜は、このヒートポンプの機械で冷房しますので、当然温度は下がっています。外気温に対して5°Cくらい温度を下げる事ができています。このあと、いくつか冷房を行った中で、花を栽培しましたので、それについてご報告させていただきます。

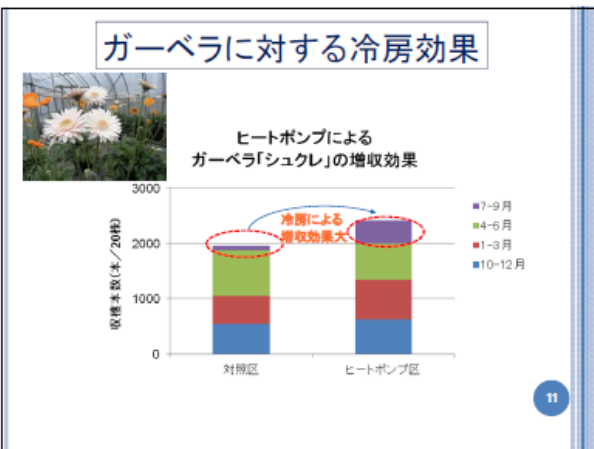


まず、切花用のヒマワリですが、この表を見ていただくと分かりますように、切花長が10cmから20cmくらい冷房すると短くなります。ただし茎が太くなって、この写真にありますように花が有意に大きくなっています。現在花を小さくするというようなお話もありますが、花が大きくなる方がいいことなのかという問題はさておいて、

冷房することで花は大きくなるということです。開花は4日程早くなっていました。たぶんこれは、呼吸による過剰浪費が、夜冷を行うことで軽減したのではないかと考えています。



一方、都内で栽培の多いシクラメンですが、これについても冷房を行うことで株の大きさ、高さ、ともに有意に大きくなっています。葉数とか葉色は変わらないのですが、花の花弁の幅が大きくなるなどが分かっています。また、有効花数が株あたり30個くらい多くなるなど、品質が向上しています。また、この写真にありますように、明らかに冷房すると開花が早まっています。都内の生産者で、現在も山梨県等に山上げをしている方はいらっしゃるのですが、このヒートポンプを使った冷房というのは、それに変わる技術として言えるのではないかと考えています。



最後に、ガーベラですが、これは1年を通じた収量を見ています。品種は2品種やったのですが、

ここでは「シュクレ」という品種についてご説明したいと思います。年間を通じてヒートポンプの方で収量が上がっているわけですが、特にその中でも7月から9月、このグラフで言うと紫色のところですが、夏場の冷房の効果が増収効果に与える影響というのが大きかったということが分かったと思います。

品質への影響(品種:シュクレ)

品種名	試験区	調査項目	調査月		
			7月	8月	9月
Cont区		切花長 (cm)	44.8	45.6	50.1
		切花重 (g/本)	7.4	7.8	10.7
		花径 (cm)	6.5	5.7	6.4
シュクレ		花径 (mm)	4.8	4.6	5.2
		切花長 (cm)	45.3	51.9	52.3
		切花重 (g/本)	9.2	10.3	12.8
HP区 (冷房区)		花径 (cm)	6.1	6.2	6.6
		花径 (mm)	5.2	5.0	5.3
		切花長 (cm)	NS	**	NS
t-test		切花重 (g/本)	**	**	**
		花径 (cm)	**	*	NS
		花径 (mm)	*	*	NS

このときの品質を見ているわけですが、明らかに7月から9月までの品質を見てみると、冷房をすることで切花重が増加しているということが分かるかと思えます。また、時期によってまちまちなのですが、切花長、あるいは花の大きさも、冷房することで大きくなるということが分かっています。ただ、ヒートポンプというのは、実際は原油高騰に対応した省エネという意味合いで入れる方が多いのですが、今回のテーマのヒートポンプを使った冷房というのは、品質向上や収量増を狙っているわけで、冷房したからと言って結局それが売上げに転嫁されないと意味がないということになってきます。ですので、今回ガーベラについては、売上高に占める冷房費の割合というのを調べています。

冷房による増収効果、および売上高に占める冷房費の割合

品種名	試験区	7~9月 収量(g)	7~9月 収穫本数(本)
シュクレ	Cont区	21,400	2,463
	HP区	123,973 約6倍	10,847
アマチ	Cont区	91,825	12,366
	HP区	180,537 約2倍	20,908

売上高(円)	冷房消費電力料金(円)(B)		売上高に占める冷房費の割合(%) A/B*100
	(A) ヒートポンプ本体	(B) 井戸水	
69,519	0	0	0
322,003	23,365	10,222	10.4
350,944	0	0	0
610,408	23,365	10,222	5.5

データはヒートポンプハウス86.4m²(5.4m×16m)に換算(栽培密度20株/3.3m²、小数点以下切り上げ)
a)売上高はH22年東京都中央卸売市場産出(7月25.2円/本、8月21.6円/本、9月35.9円/本)
b)冷房消費電力はヒートポンプは7月584.1kWh、8月539.1kWh、9月537.1kWh、冷房熱源となる井戸水は
湧水量60L/分、約8℃の温度差で10L/日で計算、井戸ポンプは定格出力250W、電力料金は1kWh=16円
c)日中ミスト冷房に使用する井戸水量は7.5L/時とわずかであったため、コスト計算から除外した

先程も申し上げましたように、ガーベラでは、冷房によってかなり収量が上がっています。それに伴う売上高に占める冷房費の割合は5%から10%くらいということでしたので、冷房してもかなり収益は上がるのかなと思っています。ただ、冷房するというのはそれだけコストをかけるということですので、品目ごとに本当に冷房の効果があるかということはきちっと確認していく必要があるのかなと思っています。国の事業で行ったヒートポンプの効果等は以上ですが、さらにもうちょっと性能を高めたヒートポンプのシステムについても解説していきます。

■さらなる高性能ヒートポンプ

都内での花卉栽培

温風暖房機

鉢花ポインセチア(昭島市) 15℃加温

都内の切花は少量多品目

切花カーネーション(あきる野市) 12℃加温
 そのほかアルストロメリア、宿根スターチス、キンギョソウなど

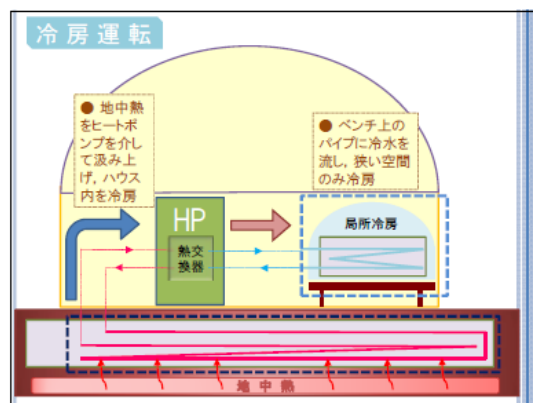
●ハウス全体の冷暖房では多大なコスト
 ●最適温度域の高い品目に合わせるため無駄な加温

冷暖房コスト削減→局所加温技術開発が求められる

都内ではこの写真にありますように、カーネーション、アルストロメリア、キンギョソウなど、いろいろな品目が1つのハウスに入っているという現状があります。冷暖房をするときに、農家さん

は1つのハウス全体を冷やすわけですね。実際は、たとえばキンギョソウなんかはそこまで温度が必要ではないかと思うのですが、同じような温度管理をしているといった現状にあります。また、このポインセチアみたいに、温度の高いことを要求するようなものを育てるときも、結局このハウス全体を暖めたり、冷房したりするというのは、かなり無駄になるということがあります。もちろんヒートポンプで、省エネにはなるのですが、さらなる省エネを実現するためには、**局所的に温度管理をする技術の開発**が必要なのかなと思っています。

そこで、また概略図になります。



今までは地中のこういった熱を使って、ヒートポンプで温風や冷風を出して、暖めたり冷やしたりしていました。この水を通した管(パイプ)で局所的に冷房するというのが、この新たなヒートポンプのシステムになります。

これが実際の写真です。



ここに地中熱のヒートポンプがありまして、こ

ちらの外に実は地中から熱を取るためのパイプが埋めてあります。地中から取った熱を使いヒートポンプで水を冷却し、パイプの上に冷水を通してあります。ベンチの上に、「アグリマット」と呼んでいる商品なのですが、こういった熱交換器を敷いて、その上に冷水を通していているといった状況です。写真の左側を見てもらうと分かるのですが、冷房するときだけ開閉するようなかたちで保温材をかけてやると、今まではハウス全体を冷房なり暖房なりしたところを、ここをトンネル状にすれば、この中だけを冷暖房するだけで済むということで、かなり省エネが図れるのではないかというふうに考えています。現在はシクラメンとポインセチアについて、こういった局所冷暖房の技術を開発していこうと考えています。

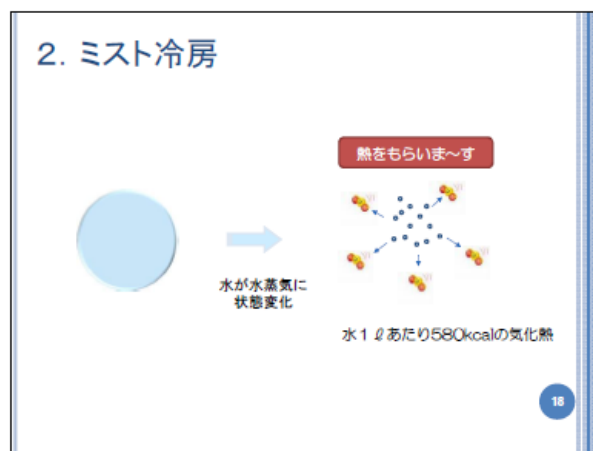
新たな地中熱ヒートポンプ導入にかかるコスト					
	単価 (円)	数量 (台)	金額合計 (円)	耐用年数 ^a (年)	導入コスト ^b (円)
ヒートポンプ本体 (冷室能力10kW)	735,000	1	735,000	13	56,538
地上部熱交換器 (アグリマット)	42,000	8	756,000	15	50,400
25mmポリエチレンパイプ その他種手	15,000	12	180,000	40	4,500
	1,000	20	20,000	40	500
合計			1,691,000		111,938

a) 減価償却資産の耐用年数表(国税庁)参考
b) 単価*数量/耐用年数
注1) 従来の温風暖房機は、500,000円程度(熱出力12,000kcal/h)
注2) 設置にかかる工事費は含まれない
注3) 200m²の温室

ただ現在のところ、この地中熱ヒートポンプというのはかなり高いですね。業者の人に聞くとともにとの価格っていうのは空気熱源のヒートポンプとそんなに変わらないらしいのですが、結局売れている台数が全然少ないので、全然値引きがされないというのがあります。ですので、これから普及していけば、どんどんどんどん安くなるのでしょうが、今のところ200m²で170万円くらいですので、このコストをいかに下げていくかというのが今後の課題になるかと思えます。

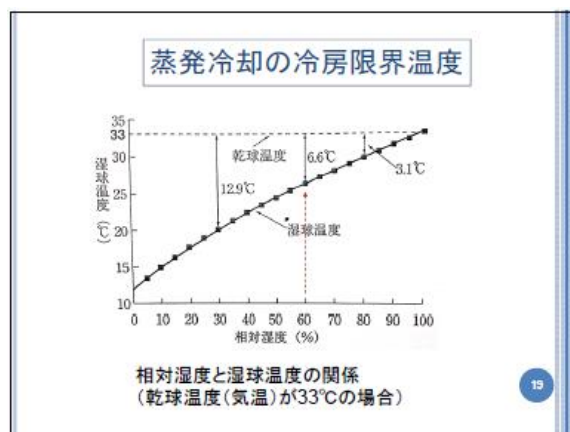
■ミスト冷房の概要

次にミスト冷房です。



ミスト冷房は、水が水蒸気に状態変化するときに気温が下がるという現象を利用しています。水1ℓあたり580kcalの気化熱を、蒸発するときに周りから奪うということになります。

どれだけ、温度を下げるができるかということについて、ちょっと難しいグラフになるのですが、このグラフを用いて説明します。



実際皆さんが測ったりするときの温度というのは、乾球温度と呼ばれているものなのですが、その液だまりという温度計の液が溜まっているところに濡れたガーゼをあてて測ると、どんどん温度が下がるんですね。それが湿球温度と呼ばれているものです。これが、相対湿度と関係しています。たとえばすごく乾いたところの空気を、ミストとかで湿度を高くしてやると、温度がすごく下がりやすいということが分かります。たとえば、

湿度が 60% くらいのハウスがあったとして、この現在の温度が 33℃ だとしたら、これをミストで冷房していくと理論的には 6.6℃ 下がる。ですから 26.4℃ まで下げることができるのです。ミスト冷房によって、気温を下げることはできるのですが、それは湿度と関係しているということです。ですので、たとえば昼間にミスト冷房するとかなり効果があるのですが、夜はハウスの中は湿度が高くなりますので、ミストをやってもあまり効果がありません。夜は相対湿度が高くなり、乾球温度と湿球温度の差があまりなくなってくるので、効果がないということになります。

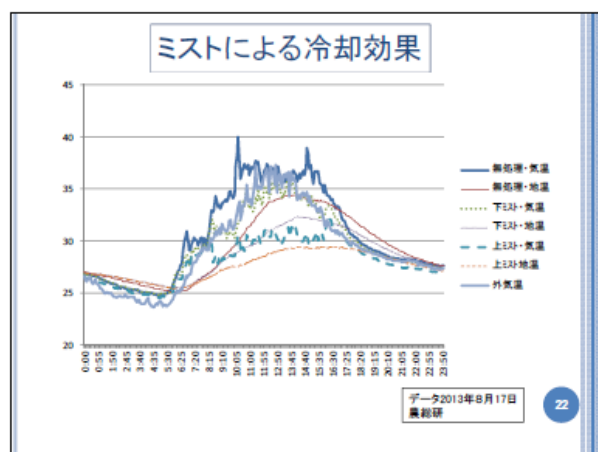


実際、我々はこういった簡易ミスト装置というのをつくっているわけですが、全国的に入っているミスト冷房というのは、かなりの圧力をかけて、ミストの粒径をかなり細かくしている。20 μ m くらいの粒径にしたドライミストというのが主流なのですが、それには圧力ポンプとそれに伴うノズルが必要でかなり高価だということで、入れたくても入れられないという状況にあります。我々はネタフィルム製の、水道圧でも 30 から 90 μ m くらいのミストを発生する「クールネットプロ」というのを採用して、ミスト装置を導入したときに冷房効果があるかということを見ています。

■ミスト冷房の導入

ミスト装置 初期導入コスト	
ミスト用ノズル (0.2個/m ²)	200,000
スマートリレー 制御機器	15,000
スマートリレー用電源	5,000
電磁弁(2台)	15,000
φ16ポリエチレンパイプ(200m)	20,000
ポリエチレンパイプ継手	15,000
合計	255,000
	500m ² あたり

実際、導入コストは 500m² あたり 25 万円程度ということでかなり安く、これは自前で簡単に施工ができますので、導入も簡単です。



実際の温度を測ってみますと、外気温がこの線ですが、何もしないと (ハウス内の気温は) 外気温より高くなります。けれどもミストを行うと、特にベンチの上からやっているミストの効果は高く、だいたい地温で言うと、何もしないところよりもベンチの上から行ったミストで 5℃ くらい温度が下がるということが分かっています。

ミストによるシクラメンの生育への影響



23

このときのシクラメンの生育を見てみますと、もちろんミストをした方が、葉数も多くて株も大きくなります。今後は、開花時期等も見ていきたいと考えています。

ミスト導入にあたっての留意点

- 強い遮光でハウス内の温度を下けている条件ではミストの冷却効果が低くなる。
- ベンチ幅が狭いところで、ベンチ下ミストを行うと通路が濡れて作業性が悪くなるので、通路へ飛散しないようにする。
- ミストは攪拌扇と組合せたほうが効果が高いため、セットで設置したほうがよい。
- 夕方には葉が乾くように、噴霧時間、噴霧間隔を設定する。

24

ただ、ミスト導入にあたっての留意点ですが、まずもともと遮光が強いところでは、外気温くらいまで温度が下がっていますので、ミストの効果下がります。そういうところでミストをやる場合には、今まで60%くらいで遮光していたところを40%くらいで遮光するとか、そういった工夫が必要です。また、ベンチの下にミストを行うと、通路までミストが飛散してしまって、作業性が悪くなるので、そういった場合はベンチの下に、不織布などを貼って、通路に飛散しないようにするのも一つの手です。また、攪拌扇と組み合わせた方がミストが空中に漂っている時間が長いので、冷房効果は高いということがわかっています。攪拌性と組み合わせた方がいいということです。それからもちろん、病気が怖いので、夕方には葉っぱが乾くように噴霧時間とか噴霧間隔とかを設定す

る必要があります。これは設置するハウスの大きさとか、どのくらいの密度でミストのノズルを設置したかとか、そういったことで噴霧時間は決まってくると思いますので、その辺は状況に応じてやっていく必要があります。

簡易ミスト装置の都内での普及状況

地域	品目	設置方法	目的
1 練馬区	シクラメン	ベンチ下	冷房
2 練馬区	シクラメン	ベンチ下	冷房
3 練馬区	ポインセチア	ベンチ上	挿し木
4 東久留米市	シクラメン	ベンチ上	冷房
5 昭島市	シクラメン	ベンチ上	冷房
6 昭島市	マーガレットほか	ベンチ上	挿し木
7 昭島市	キキョウほか	ベンチ下	冷房
8 昭島市	シクラメン	ベンチ下	冷房



25

現在、この簡易ミスト装置は普及センターと協力しまして、東京都内の3地域8農家のハウスに入っています。今日聞きに来られている方で、入れている方もいます。目的としては当初は冷房だったのですが、「これは挿し木にいいね」ということで、挿し木目的で入れている方も2軒いらっしゃいます。実際これでかなり挿し木効率が上がったという話は聞いています。その他冷房目的で入れている方から、「シクラメンでも根の張りがすごく良くなったよ」という話を聞いています。これが写真ですが、ベンチの上の設置と、ベンチの下、挿し木の状況です。

これがうちの農業試験場の全景になります。



本当は天気の良い日に撮りたかったのですが・・・
実は、立川市の富士見町というところにあるんですね。天気がいいと、このところに富士山がすごくよくきれいに見えるのですが、たまたま思い立ったときが天気の悪い日で、撮れなくて申し訳なかったです（笑）。東京と言っても、本当にいい立地条件にありますので、ぜひ機会があったらおいでいただければと思います。最後になりましたが、こういった発表の機会を与えていただきありがとうございました。ご静聴ありがとうございました。

以上