

ビニルハウス内温度分布の均一化に関する研究

塩谷民一・高野邦治・石井加一郎

I 緒言

現在のハウス栽培は加温によるものが主体であり、作型の分化や栽培の安定化および規模拡大へと急速な進展がみられている。それにもなつて付帯設備は高度化し複雑化してきているが、ハウス内の微気象の実態や環境制御機器の効率的な利用法などについての解明は緒についたばかりであり、これらの検討が急がれている

本県においては1964年頃から温風暖房機の導入がみられ始めた。これは熱交換によつて暖められた空気をハウス内に放出対流させる方式であるため、ややもすればハウス内温度が不均一になりやすく、この欠点を緩和するためダクトをハウス内に配置したり、カーテンを掛けて熱損失を防ぐなどして温度分布の均一化がはかられている。しかしハウスの型式、大きさはもちろん、加温様式についても千差万別の状態にあるため、実用面における利用基準を作る必要があると思われる。

そこでハウス内の温度分布と暖房機利用の実態について調査し、暖房機やダクトの配置など加温に関係した資機材の利用法について検討したのでその結果を報告する。

調査の実施にあたりご指導いただいた加藤昭佐野分場長、ご協力を得た佐野分場および野菜部の各位・足利農業改良普及所齋藤一雄技師・関一男技師、本稿の取りまとめにあたりご助言下さつた農林省園芸(現果樹)試験場中川行夫室長および当场遠藤喜重部長らに対し、厚く謝意を表す。

II 調査方法

1. 暖房機利用の実態調査

県内の代表産地である足利・佐野・鹿沼地区のキュウリとトマトの栽培ハウスを対象に、下

第1表 調査対象の概要

調査項目	対象物および数量
栽培作物	キュウリ8か所、トマト7か所
ハウスの大きさ	最大2,856㎡-最小846㎡
暖房機の位置および台数	北側6基、南側3基 中央5基、連結1基
暖房機の型式	HK400型7基、300型11基
吹き出し口	下吹き13か所、上吹き5か所

記の事項について調査を行なつた。(1969)

- 1) 暖房機の設置場所
- 2) 暖房機の自動調整
- 3) 温風の吹き出し口
- 4) ダクトの利用状況
- 5) 作柄の整一度(草丈の高低差,%)
2. 暖房機の利用法と温度分布に関する調査
 - 1) 暖房機設置場所と温度分布の関係調査
(1969)

暖房機をハウス内の片側に設置した場合と中央部に設置した場合の温度分布について比較調査した。片側に設置した場合のハウス面積は14.8aで、奥行5.8m間口3.6mの6連とう、親ダクト2.5m、子ダクト1.017mを使用。中央部に設置した場合のハウス面積は19.0aで、奥行6.5m間口3.6mの7連とう、親ダク

ト 2.7 m, 子ダクト 9.45 m 使用であつた。ともに下吹き方式である。

2) ダクトの下吹き配置と温度分布の関係調査 (1970・1971)

暖房機をハウス内の片側に設置し、子ダクトの末端がV字型になるように配置した場合にその長さとの関係について、下記の2か所で調査した。

(1) 単とう大型ハウス (9.7 a, 奥行 5.4 m で間口 1.8 m, 子ダクト 4.05 m とその長さ 8.2, 6.4, 4.2% の4処理の場合)

(2) 単とう中型ハウス (2.9 a, 奥行 2.5 m で間口 1.1 m, 子ダクト 1.56 m とその長さ 6.5% の2処理の場合)

3) ダクトの上吹き放射状配置と温度分布調査 (1970)

南北とうハウスにおいて、暖房機の設置場所を異にした下記の2か所について調査した。

(1) 南と北に暖房機 H K 300 型を1基ずつ設置 (2.4.8 a, 奥行 6.2 m で間口 4 m の9連とう, ダクト 3.8 m 使用の場合)

(2) 東と西に暖房機 H K 300 型を1基ずつ設置 (2.1.3 a, 奥行 4.2 m で間口 5.7 m の9連とう, ダクト 6.0 m 使用の場合)

4) カーテン併用による温度分布調査 (1971)

上記2) - (2) の単とう中型ハウスでポリエチレンフィルム (厚さ 0.05 mm) を高さ 215 cm に水平張りした場合の温度分布について調査した。

5) 循環ファン併用による温度分布調査 (1971)

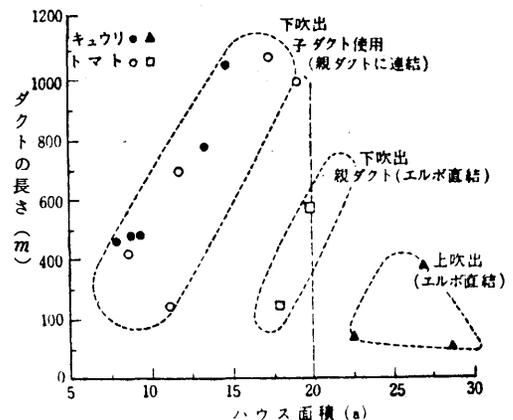
上記2) - (2) の単とう中型ハウスのむねばり直下で高さ 32.5 cm に、径 30 cm の扇風機 (F 30 F B) 2基を 1.0 m 間隔で下向きに設置して、加温時の温度分布について調査した。

1. 暖房機利用の実態

1) 暖房機の設置場所は、導入当初はハウスの片側であつたが現在は中央部に移したものが多かつた。片側に設置する場合は、道路 (農道から油そうまでの距離 1~1.5 m や油そうから暖房機までの距離 1~4.7 m) またはハウスの向き (南西 10.0~南東 6.6, 平均南南西 8.5) などにより、北側と南側がみられたが一般には北側が多い。片側設置ではサイド利用が多く、中央設置ではあき地を減らすために歩き道に設置しダクトの配列に合わせたものが多かつた。(表省略)

2) 暖房機の自動 (点滅や送風など) 調整目盛は、バーナー L I M I T 77~88°C, 余熱 O N 45~65°C, O F F 34~39°C であり、キュウリとトマトでの差はみられず、機種によつてほぼ規制されていた。利用に際しての調節は、一般にサーモスタット (キュウリ 20~11°C, トマト 12~5°C) によつて行なわれている。

3) ダクトにはナシ地のポリエチレンチューブが使用されており、親ダクトは折径 100~90 cm で厚さ 0.15~0.1 mm, 子ダクトはそれぞれ 3.2~2.5 cm, 0.1~0.05 mm, 吹き出しエルボ直結ではそれぞれ 4.0~3.0 cm, 0.13



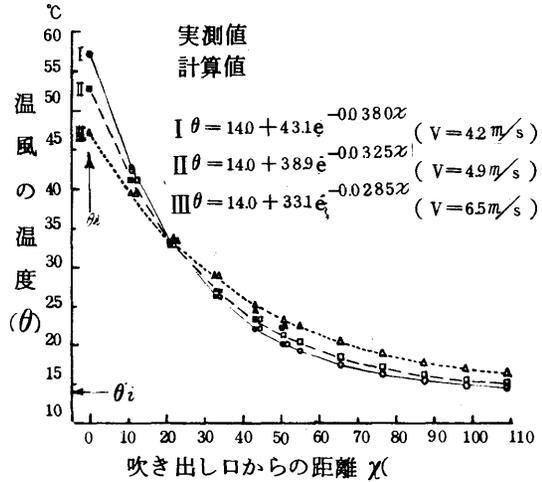
第1図 ハウス面積とダクトの長さ(1969)

III 調査結果

～0.1 m²であつた。ダクトの利用状況は第1図に示したとおりで、子ダクト使用の場合は下吹きが多く並列同長あるいは長短振り分けの配置でハウス面積20 a未満、下吹きでエルボ直結では20 a前後、上吹きでエルボ直結の放射状配置は比較的大型ハウス(25～30 a)で多い傾向がみられ、ハウスの規模による類別が明らかであつた。

4) 送風機を2基(HK300型に増置)としたもの、風量をダクトの連結部や末端で調節したもの、突あきダクト(突の大きさと間隔で調節)の使用なども一部にみられた。なお主ダクトの末端を上吹きとして熱風害を防止しているもの、暖房機寄りの1～2 mのダクトを二重に補強して、熱強風による破損と高温域の解消をねらつたものもあつた。

5) 吹き出し口の温風は第2図に示したように50～60℃の異常高温であり、ダクトの末端50 mにおいても20℃前後あり、生育適夜温より高温であつた。これらの実測値を中川ら⁸⁾が求めた算式に代入し、吹き出し口の距離別温度変化とあわせてプロットした。この図から吹き出し口で温風の持つている熱の50%がダクト表面から放散される距離は、温風の吹



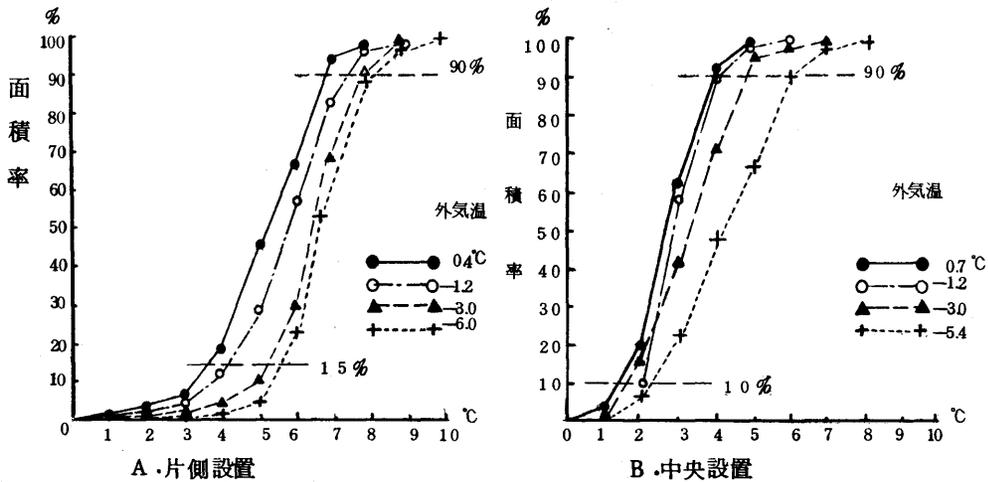
第2図 暖房機からの距離とダクト内の温風温度(1969)

注. 計算値はダクト内の風温変化を示す下記の算式による。

$$\theta = \theta_i + e^{-\frac{0.0046\chi}{C_p \rho r v}} (\theta_h - \theta_i)$$

ただし θ : 距離 χ mにおける温風温度(°C)
 v : 温風の流速(m/s)
 $C_p \rho$: 空気の熱容量 $0.3 \text{ Cal/m}^3\text{C}^{-1}$
 θ_h : 暖房機吹き出し温風の温度(°C)
 r : ダクトの半径 0.096 m
 θ_i : ハウス内気温, 14.0°C

き出し口温度($\theta_h = 47 \sim 57^\circ\text{C}$)とハウス内気温($\theta_i = 14^\circ\text{C}$)の中間値の31～36



第3図 暖房機の設置場所とハウス内温域分布(1969)

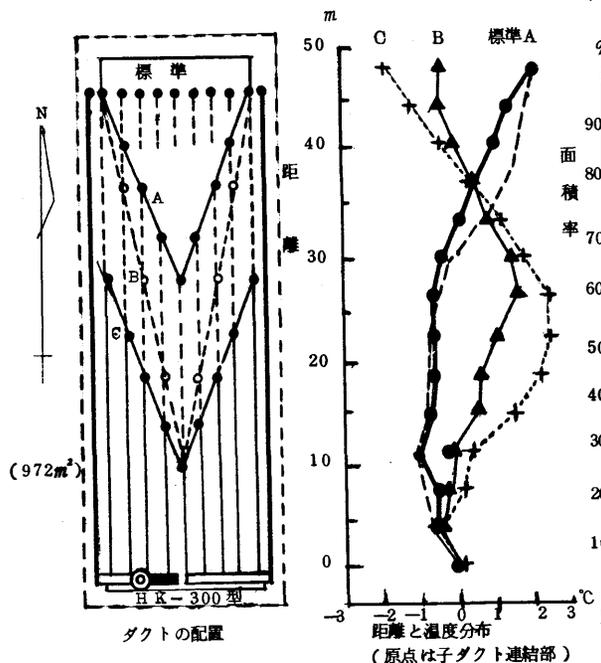
(注・原点は最高温度)

℃に低下する20m辺である。同様にして38～55mの距離までに75%の熱が放散されていることがわかった。

6) 温風温度の不均一に起因すると認められたか所を抽出して、草丈について高低差を比較(それぞれ20株当たりの、低い株の高い株に対する平均比率)したところ、キュウリ8か所で96～66%, トマト7か所で88～73%であった。作柄の整一度はトマトの方がキュウリより良く、暖房機の設置場所については中央部の方が片側の場合よりすぐれていた。(表省略)

2. 暖房機の利用法と温度分布

1) 暖房機の設置場所を異にした温度分布



第4図 下吹きダクトのV字型配置と温度分布(1970)

配置による温度分布は第4図に示したとおりである。標準(慣行, 並列同長405m)に比べて, A(333m, 82%)は標準とほぼ同じであるが中央～暖房機寄りがやや低く, 中央～末端(吐出口)周辺がやや高めであった。B(261m, 64%)とC(171m, 42%)

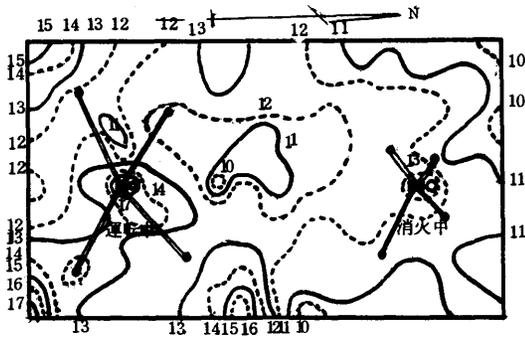
は第3図のとおりで, 子ダクトの本数や長さを増加した状態においてもかなりの温度差がみられ, それぞれ10回(18:00～4:30h)の調査値によると, 片側設置では8.5～6.9℃, 中央設置では5.9～3.0℃であった。いずれも暖房機周辺の高温が著しく(ハウス面積比率は片側設置約15%, 中央設置約10%), 冷域部(比較的低温の面積)はいずれも10%前後であり, 中央設置で適温域(比較的均一な温度分布を示した面積)が広がった。なお外温が降下してハウス内との温度差が開くと, ハウス内の温度分布はより不均一となり, この関係は温度差に比例していた。

2) ハウスの奥行にそつたダクトのV字型

は中央部が極めて高く, 末端部での降温が著しく, とくにCは温度傾斜が大であった。中型ハウスでの調査結果もこれと同じであった。

3) ダクトの上吹き放射状配置においては, 大型ハウス(24.8～21.3a)であつても温度むらは比較的少なく(2か所7回の調査によ

るハウス内の温度差は $5.9 \pm 1.4^\circ\text{C}$ であつた), 第5図に示したとおり高温域は暖房機とダクトの吐出口の周辺であり, 低温域はダクト張り出しの谷間部と吐出口から遠いところのハウス周辺部であつた。しかしハウス周辺部は暖房機運転(点火)中は, 温風が集まつて高温となるためその変化がはげしく, 暖房機の周辺部は常時



第5図 ダクトの上吹き放射状配置と温度分布(1970)

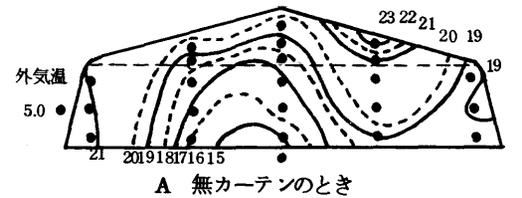
- 注 1. 暖房機HK 300型(2基)を南北に設置
 2. ハウス面積248 a
 3. 調査時の天気ははれ, 外気 2.5°C
 北西の風 $0.7 \sim 0.8 \text{ m/sec}$
 4. ダクトの長さと同規格
 N 12.8 m, S 25.4 m, 折径40 cm, 厚さ0.1 mm

高温であつた。一方, 暖房機の設置場所を異にした差はみられず, 同様な温度分布を示した。

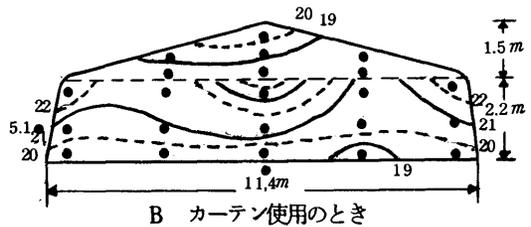
4) 暖房中に天井カーテンを掛けると, 第6図のような温度分布がみられた。温度はカーテンの下側で最高となり, 地面および側面に向かうにつれて低くなり, 地面付近とカーテン直

下の温度差は約 5°C であつた。無カーテンでは温度は地面から上方に向かうにつれて高くなつており, 天井(むねばり直下)付近で最高を示した。

5) 天井(むねの直下)部に循環ファンを取り付けると, 第7図のような温度分布が得られた。第6図のように無カーテンでは, 温度は天井付近が最高となり, 地面および側面が低くなつていたが, ファンの循環によつて温度差は縮小している。

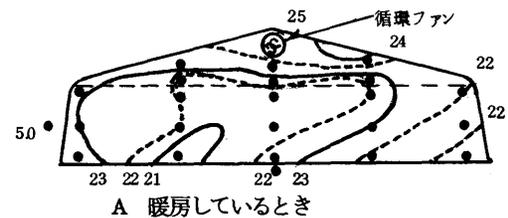


A 無カーテンのとき

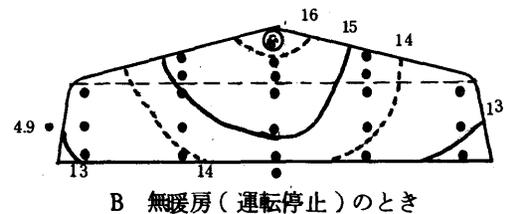


B カーテン使用のとき

第6図 カーテンの有無による温度分布(1971)



A 暖房しているとき



B 無暖房(運転停止)のとき

第7図 循環ファンを利用したときの温度分布(1971)

IV 考 案

温風暖房の得失について、中川⁸⁾は装置が簡易で安価なことを最大の特色としてあげ、欠点としては点滅や燃焼状態の変化によつて室内温度が変化して不安定になりやすいこと、ダクトを使わないと温度分布が不均一になりやすいことなどを指摘している。さらに森⁷⁾はこの種の対流加温では風量が制限因子であり、温度分布をよくするためにはダクトを使用するのがよく、暖房機の位置やダクトの使用は補助的な役割を持つと述べている。

筆者らは県内の代表産地のキュウリとトマト栽培ハウスを対象に暖房管理の実態調査を行なつたところ、暖房機の効率的な調整やダクトの使用法について改善すべき次のような問題点がわかつた。

栽培者は暖房機の設置場所を、ハウスサイド(総面積の15~20%)などの周辺部から中央部に漸次移していた。周辺部設置では温度分布が不均一になるものと判断したためである。

第3図のように、ハウス内の温度分布は外気温によつて変化がみられるが、中央設置では高温域が約10%であつたに対し、片側設置では約15%であり、前者がより適正な設置場所であることと判断できる。

吹き出し温風の温度は第2図のようにかなりの高温であり、計算値から熱の50%がダクト表面から放散される距離は20m辺である。これは送風量を増すか、通風抵抗を小さくしなければならぬことを意味している。中央設置下吹きの場合に暖房機周辺の高温域が約10%であつたのは、下吹きによる戻り風との兼ね合いによる降温現象が弱く、暖房機自体と吹き出し口周辺の放熱が大きいためと思われる。一方、上吹き放射状配置の温度分布が比較的均一であつたのは、神谷³⁾らが述べているように、暖気の自然対流を強制循環が安定させ、温度の層的分布が安定することと、戻り風による降温効果が期待できるためと推察される。なお25a前後の

大型ハウスにおいては、ダクトの下吹き配置による事例がみられなかつたので、上吹き配置と下吹き配置のいずれがすぐれるかは比較できなかつた。一般には15a前後のハウスにおいても上吹き放射状配置による暖房法が増加している。

吹き出し温風は、暖房機の調整(目盛)値が高く作られているためかなりの高温であり、かつ燃焼の点滅による温度起伏がはげしい。このためエルボ寄りのダクトの破損や吹き出し口を中心に風害がみられた。風温を下げてこれらを防ぐことと、送風機を改良して風量を増し温度分布の均一化が容易に得られるような、機種¹⁾の改善などが差当たり望まれる。

温風の強制循環にダクトを使用することは一般化しており、古田¹⁾らはダクトの長さについて、施設が大型や奥行が長いときでも標準(うねの長さに相当する)の5~6割にすると温度むら¹⁾が最少になるとしている。第4図のように、ダクトのV字型配置においても、中央部を短縮すると(標準の60%ぐらい)送風抵抗が少なく好ましいようであつた。

加温時に天井カーテンを掛けた場合は、第6図のようにその効果は顕著である。また室内循環ファンを天井部に取り付けた場合は、高温な空気は押し下げられかきまぜられてハウス内の温度差は小さくなつている。(第7図参照)ハウスの型式やファンの性能などによつてその効果は異なるであろうが、逆転層(温風暖房時にはハウスの天井部が地面部より高温となる)の解消と温度分布の均一化には有効な方法と思われる。ハウス内温度の均一化については、さらに吹き出し角度の調整や機種¹⁾の選定などについての検討も必要である。

V 摘 要

キュウリ・トマト栽培ハウスを対象に、暖房管理の実態並びにダクトや暖房機の利用法と温度

分布の関係について調査し、二・三の改善点を指摘した。

1. ハウス内温度差による作柄の乱れはキュウリ栽培で比較的多く、とくに暖房機の位置がハウスの片側で、温風の吹き出し口が下側の場合が多い。これは暖房機周辺の高温（面積率で片側15%、中央10%）が著しいことに起因する。

2. ダクトの利用状況調査から、ダクトの配置法に問題があることを指摘した。

3. ダクトについての調査では、とくに中川らが求めた算式と実測値（吹き出し温風58～47℃、50m末端で風速4～7m/sec・20～23℃）を対比し、これがよく一致することを認めた。

4. ダクトの配置法は、下吹きの場合は中央部分を短かくしたV字型がよく、大型ハウスでは上吹き放射状配置がより適正な方法と思われた。

5. ハウス内の温度分布から、暖房時の水平カーテンおよび気流循環ファンの効果を確認した。

VI 引用文献

1. 古田勝己・樫木邦治（1969）園学研究要昭44（秋）：PP. 385-386
2. —————（1970）園学研究要昭45（春）：P. 438
3. 神谷円一・村松安男・山田昌明（1966）園学研究要昭41（秋）：P. 317
4. 川勝義夫（1971）施設園芸の環境と土壌：PP. 76-124
5. 北村一男・石上忠・植松盾次郎（1969）園学雑38（1）：PP. 68-73
6. 松浦正視・福川進（1969）園学研究要昭45（春）：PP. 132-133
7. 森俊人（1969）園学シンポジウム講要昭44（秋）：PP. 75-87
8. 中川行夫（1972）施設園芸の基礎技術：PP. 180-181
9. —————・石橋惇・沢田一夫（1973）園試報A12：PP. 149-165