

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

藤本 幸平・内藤 潔・ト部 昇治

Studies on the Mechanical Ventilation System by a Ventilation Fan in a Vinyl House. 1.

The proper establishment and effects of a ventilation fan.

Kōhei FUJIMOTO, Kiyoshi NAITO and Shoji URABA

緒 言

グリーンハウス、あるいは、ビニールハウスによる周年栽培は、年ごとに普及、拡大の傾向にある。これらのハウス栽培における環境調節は、土地生産性の向上、ならびに、生産安定のために極めて重要である。しかし、生産規模拡大にともない、これらのハウス栽培における環境調節のための労力は決して少なくないのみならず、生産規模拡大の一つの隘路とさえなっている。ここにおいて、ハウス管理の最も大きな課題である換気について、効率的、かつ、省力手段として、換気扇による強制換気方式を検討するに至った。

これらハウスにおける強制換気については、欧米においてはすでに実用段階に到達しているが、わが国においては、藤井¹⁾ 中川²⁾ 矢吹⁸⁻¹¹⁾ 米村⁷⁾ 川勝⁴⁾ らがガラス室におけるファン アンド パッド方式や噴霧冷却方式による冷房効果についてそれぞれ報告しており、また、岡田⁶⁾ はビニールハウスにおける換気扇利用について報告している。

筆者らは風量型換気扇を用いたハウスの強制換気について、その設置基準の設定およびその効果を明らかにしようとするものである。

I. 吸気口の大きさと換気効率および風速分布について

吸気口の大きさを異にした場合の換気効率を明らかにし、有効最小の換気口面積を検出し、さらに、ハウス内の空気の流動状態を検知せんとするものである。

実験材料および方法

この実験をするにあたり、風量型換気扇では“Wind Master DS42G”型が適当と考えられるので、筆者らはこの型にさらに改良を加えて本実験に供試した。供試し

たこの換気扇は、直径 95cm、回転数 390rpm、所要馬力 1/2 PS であつて、その風量は無風に近い日を選び、静圧 1.0mm/H₂O 以下の条件で4回測定した結果、315.8m³/min であつた。

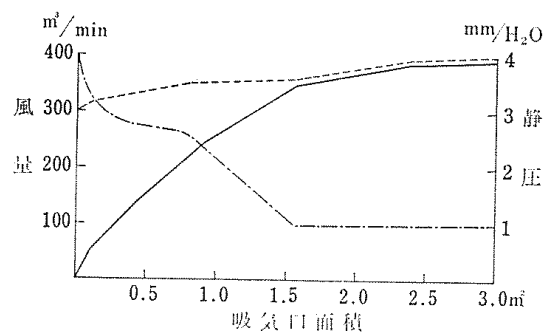
また、供試したハウスは、間口 4 m、高さ 2 m、奥行 27m、トンネル型の容積 170m³ で、南側つま面の中央部にさきの換気扇 1 基を設置し、吸気口面積を 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2m² としたときの吸気量、排気量を測定した。

さらに、換気回数については、あらかじめ、炭酸ガス濃度を 3%前後まで高めた後に、その炭酸ガス濃度の経時変化より測定し、この炭酸ガス濃度の経時変化に基き換気回数および換気量を算出した⁷⁾。

なお、炭酸ガス濃度の測定には理研式ガス干渉計を用い、また、それぞれの場合のハウス内の静圧および風速分布をも併せて測定した。静圧測定はU字管式静圧計を、風速はアネモマスター 111 を用いた。

実験結果

吸気口面積の大小と吸・排気量、静圧との関係を一括して示せば第 1 図のとおりである。すなわち、供試換気扇の吸気量は、ハウス内静圧が 1.0mm/H₂O 以下の条件

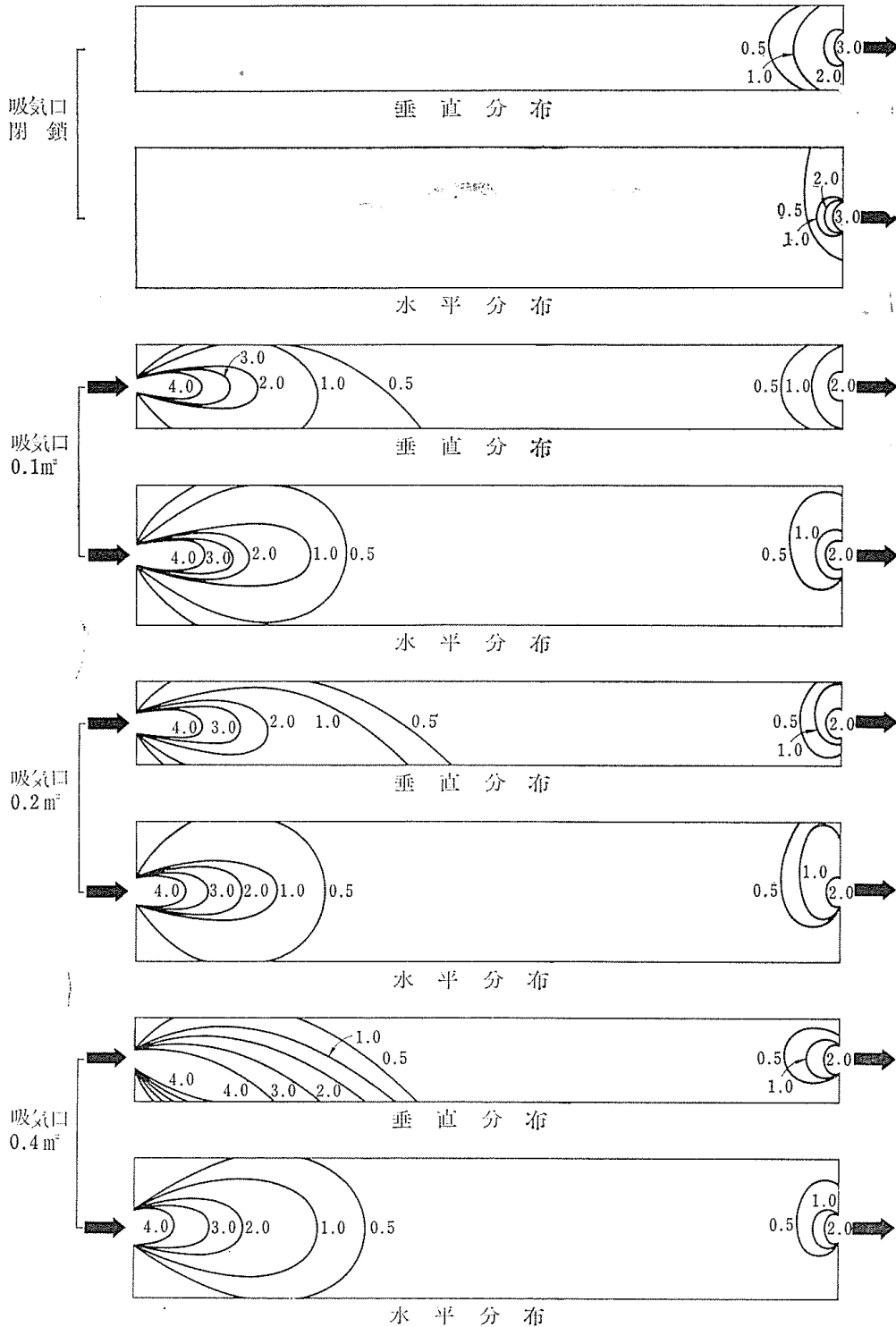


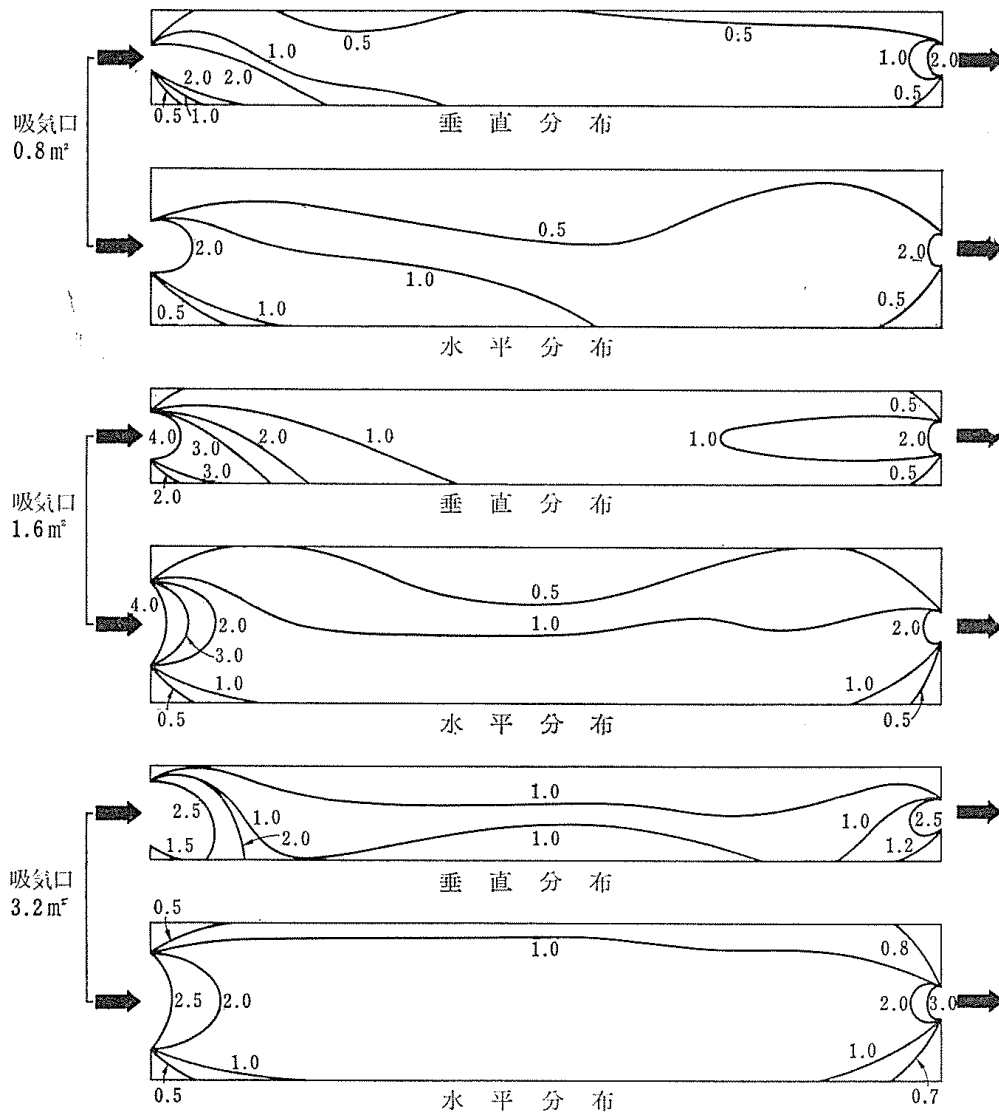
第 1 図 吸気口面積と吸排気および静圧の関係

において最大となるが、静圧が2.0mm/H₂Oでは2/3となり、静圧が3.0mm/H₂O以上では1/4以下となる。また、吸気量と吸気口の大きさとの関係は、0.8m²以下において半減し、1.6m²においてはほぼ満足すべき吸気能力を示した。この場合の排気量は吸気口の大きさ、および静圧と相関を示さないが、これは換気扇附近の空気の環流によるものと推定される。

換気回数と換気量との関係は、吸気口1.6m²の場合の換気回数は1.85/minとなり、換気量は314.5m³/minとなる。同様に吸気口0.8m²の場合の換気回数は1.28/minとなり、換気量は218m³/minとなる。すなわち、吸気口が0.8m²の場合には1.6m²の場合の換気回数より30%減となった。

また、ハウス内の風速を測定した結果は、第2図に示





第2図 吸気口面積を異にしたときのハウス内風速分布

すとおりに、吸気口が 0.8m^2 以下においては、吸気口附近はともかく、中央部の風速が微弱であつて、 0.8m^2 以上に吸気口が拡大されて始めて 0.5m/s の風速がハウス全体を流れる結果を示した。一方、吸気口が狭小な場合は、吸気口附近に風速 3m/s をこす部分が大きくなつた。

II 換気方法与温度効果について

換気扇による強制換気と、ハウスのサイドフィルムの開閉による自然換気（肩口換気）との換気効果の差異を温度管理の面から検討し、あわせて、換気ハウスの熱収支について検討しようとするものである。

実験材料および方法

間口 4m 高さ 2m 、奥行 27m 、トンネル型、容積 170m^3 のハウスについて強制換気と自然換気とを設け、一

方間口 4m 、高さ 2m 、奥行 47m 、トンネル型、容積 295m^3 のハウスについても強制換気を行ない、ハウス容積の差、および、換気方法の違いによるハウス内中央部の温度を測定した。強制換気はいずれのハウスも本換気扇1基を南側つま面に取り付け、北側つま面に 1.6m^2 の吸気口を設けた。自然換気ハウスは両サイドとも、地上 1.2m の位置で 50cm 開放した。また、上記 170m^3 のハウスについて吸気口面積を 0.1 、 0.2 、 0.4 、 1.6 、 3.2m^2 とし、本換気扇1基で強制換気を行なつたときのハウス内温度を測定した。

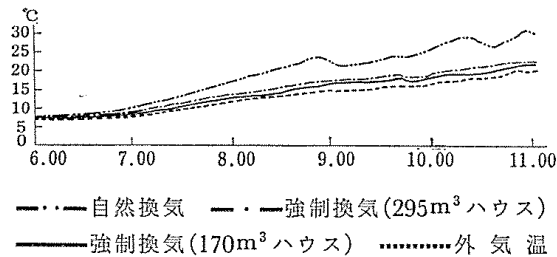
温度測定はハウスの中央部と、吸気口および換気扇よりそれぞれ 3m 内側で、それぞれ地上 1.7m で測定し、いずれも電子管式自記温度記録計を用いた。

実験結果

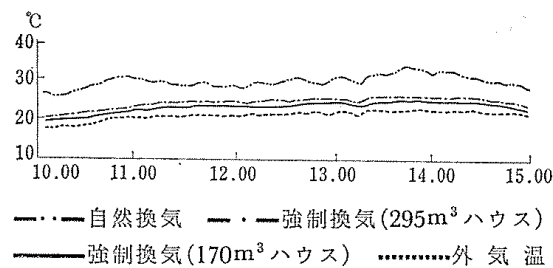
1. 自然換気と強制換気との比較

外気温が25℃程度以下で平均日射量が6.1 kcal/m²/minのときの強制換気と自然換気とによるハウス内の温度を比較すると第3～4図に示すとおりであり、また、外気温が35℃で平均日射量が8.7 kcal/m²/minのときの温度を比較すると第5図に示すとおりである。

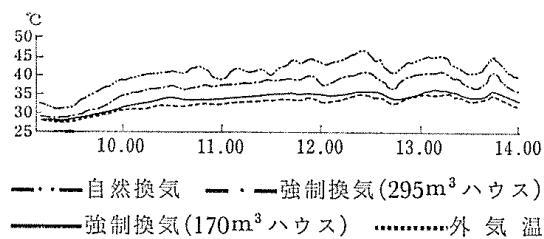
これらによれば、外気温と強制換気ハウス内気温との差は約3℃以下を示し、自然換気と強制換気とのハウス



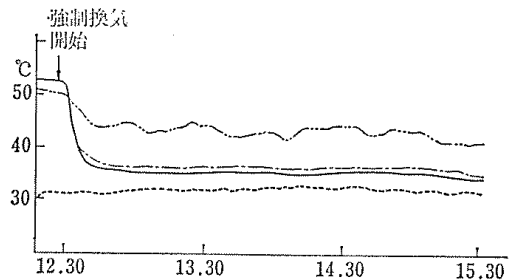
第3図 換気方式とハウス内外温度 (1964年11月10日)



第4図 換気方式とハウス内外温度 (1966年11月9日)



第5図 換気方式とハウス内外温度 (1967年8月6日)



第6図 換気開始後のハウス内温度の変化 (1966年11月9日)

内気温差は5℃ないし10℃を示した。また、295m³の強制換気ハウスは170m³ハウスより1℃から5℃の高温を示した。

また、換気扇の運転開始よりハウス内気温が外気温に最も接近して安定するまでの経過は、第6図に示すように、ハウス容積170m³、換気回数1.85/minのハウスは、295m³のハウスより約10分ほど早く安定し、かつ、両ハウス間の気温差は1.3℃で安定値に達した。

2. 吸気口の大きさとハウス内温度の分布

吸気口の大きさを異にしたときのハウス内中央部の気温は、第1表に示すように、170m³の強制換気ハウスで吸気口が0.8m²のときは、自然換気より1℃低く、外気温より6.5℃高くなつたが、吸気口1.6m²のときは同じく2.5℃低く、4.0℃高にとどまつた。また、吸気口と排気口附近の温度差は、吸気口面積が大きくなるほど低くなり、外気温が33.5℃で吸気口1.6m²のときの吸気口と排気口附近の温度差は4.5℃であつた。

外気温が22℃および27.5℃の比較的低いときは、第2表に示すとおり、17.0m³のハウスで吸気口1.6m²のとき、吸気口と排気口附近の温度差は2℃であり、295m³のハウスでも2.2℃ないし3.4℃の温度差にとどまつた。

第1表 吸気口の大きさと換気の影響

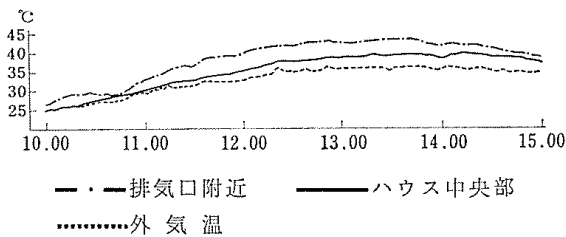
1967. 8. 25

吸気口面積 m ²	1分間の 換気回数	ハウス内温度 °C				外気温 °C
		強制換気			自然換気	
		排気口部	中央部	吸気口部		
0.1		53.0	48.3	44.5	46.0	33.5
0.2		50.0	46.0	41.0	46.0	33.5
0.4		46.5	42.5	39.0	42.0	34.0
0.8	1.28	44.8	41.0	38.0	42.0	34.5
1.6	1.85	39.5	37.5	35.0	40.0	33.5
3.2		38.5	37.3	34.0	41.0	33.5

第 2 表 ハウスの容積と吸気口部, 排気口部との温度差

年 月 日	換 気 法	ハ ウ ス 容 積 m ³	ハ ウ ス 内 温 度 °C			外 気 温 °C
			吸 気 口 部	中 央 部	排 気 口 部	
1966, 10, 21	強制換気	170	23.0	24.0	25.0	22.0
	〃	295	23.5	24.6	25.7	22.0
	自然換気	170	25.0	25.5	27.0	20.0
1967, 6, 8	強制換気	170	27.0	28.1	29.0	27.5
	〃	295	27.0	28.7	30.4	27.5
	自然換気	170	28.0	30.2	29.6	27.5

しかし、外気温が 35°C 以上で平均日射量が 8.6kcal/m²/min のときに、170m³ のハウスで吸気口 1.6m² の場合は、第 7 図に示すように排気口附近と外気温との温度差は約 7°C であった。



第 7 図 ハウスの位置別温度 (1968年 7月 25日)

考 察

“Wind Master DS 42 G” 型の換気扇の風量は、回転数 390/s、静圧 1.0mm/H₂O の条件において 315.8m³/min である。なお、この換気扇の風量を完全に発揮せしめるにあたっては、静圧 1.0mm/H₂O 以下でなければならない。供用したハウスでは、吸気口面積が 0.8m² に制限した場合は、換気量が 70% となり、換気回数も同様に 70% に低下する。このときの静圧は 2.7mm/H₂O で、風量型換気扇の限界点と考えられる。

また、吸気口面積とハウス内環境条件との関係を考察すると、吸気口面積が 0.8m² 以下になれば、ハウス内風速が 0.5m/s 以下になり、空気流動効果を望むことはできない。また、いずれの吸気口面積の場合も吸気口から 2m 内外のところ風速 2m/s をこえる部分が出来て、強風による生育障害が懸念される。吸気面積が大きくなるにしたがつて、その距離は短くなるから、生育障害も少くなるものと推察される。とくに、冬期低温下ではその害は大きいと考えられる。このことは、ハウス内作物の生育におよぼす風温、風速の影響について、今後の課題としたい。

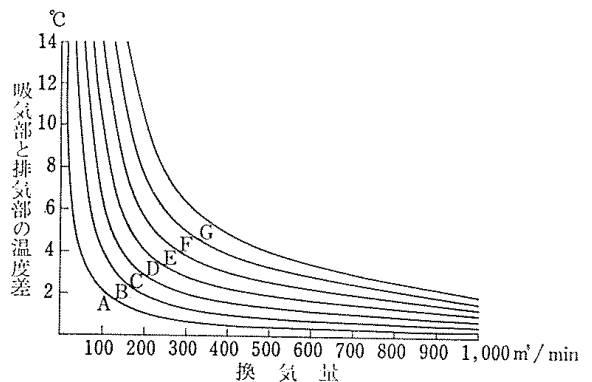
つぎに、換気扇を設置するにあたって、温度分布から

設置基準を考察すれば、外気温が比較的低い時期においては、295m³ のハウスにおいても、吸気部、排気部の温度差が 2°C ないし 3.4°C にとどめることが出来るが、外気温が高い時期においては、170m³ のハウスでは、吸気部、排気部の温度差が約 7°C を示し、排気口付近では 40°C 以上の高温部ができ、作物の生育限界をこすものと考えられる。このため、夏期の使用を前提とすれば、換気扇 1 台当りのハウス容積は 170m³ 以内にとどめるべきであろう。この場合 170m³ のハウスでは換気回数は 1.85/min 吸気口は 1.6m² を必要とする。さらに、夏期以外の外気温の低い時期においては、吸気口面積を加減してハウス内温度の調節をするがよいと考える。

換気量と時期別ハウス内熱収支との関係については、矢吹¹¹⁾はつぎの理論式を示している。

$$v = \frac{S_0 (1 - \alpha) A}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta \theta}$$

この式に本実験に供用した 170m³ のハウスの面積 A が 108m²、空気比熱 Cp が 0.24、空気の密度 ρ が 1.2、



- A. 正味放射 1 kcal/m²/min
- B. 〃 2 〃
- C. 〃 3 〃
- D. 〃 4 〃
- E. 〃 6 〃
- F. 〃 8 〃
- G. 〃 10 〃

第 8 図 換気量とハウス内温度の関係

α が 0.5, 正味放射 S_0 が 1~10kcal/min のときの換気量 v と, 吸気部と排気部の温度差 $\Delta\theta$ との関係は, 第 8 図に示すとおりとなる. 正味放射量 S_0 は, 夏期ではおよそ 8~10kcal/m²/min, 春と秋期では 6~8kcal/m²/min, 冬期では 2~4kcal/m²/min とすると, さきの実験結果ときわめて近似した数値となることから, 換気扇の設置にあたっては, あらかじめ, この理論式によつて時期別の換気効果を推定することができるようである. さらに, 夏期においては, パッドシステムを採用し, ハウス内気温の低下をはかることも考えられる.

摘 要

1. 換気扇の設置基準設定にあたり, 筆者らが改良した風量型換気扇の風量を測定した結果は, 315.8m³/min であつた.

2. この換気扇の風量は, 静圧 1.0mm/H₂O 以下のときに最大なり, 2.0mm/H₂O で 2/3, 3.0mm/H₂O で 1/4 以下となる.

3. このため, 170m³ のハウスに設置する場合には, 吸気口面積が 1.6m², 静圧 1.0mm/H₂O のとき, 換気回数は 1.85/min となり, また, 吸気口面積が 0.8m², 静圧 2.7mm/H₂O のときは, 換気回数 1.25/min となる.

4. 強制換気によるハウス内の温度の変化は, 日射量により異なり, 日射量の比較的少ない時期には外気温との差は少なく, 日射量の多い高温時には外気温よりかなり高くなつた.

5. したがつて, 夏期の利用を前提とした場合の本換気扇 1 基に対する設置基準は, ハウスの容積は 170m³ 以内とし, 換気回数は 1.85/min, 吸気口面積は 1.6m² となる.

6. それぞれの時期の換気効果は, 矢吹の理論計算式が適用できた.

引用文献

1. 藤井利重・町田英夫 1961. フォン アンド パッド方式による冷房ガラス室の冷房効果について. 園学雑 30: 371—376.
2. 林 秀夫・米村浩次 1964. 夏季における温室冷房に関する試験 (予報). 昭和39年度園芸学会 (春) 要旨: 43.
3. 井上宇市 1956. 空気調和ハンドブック. 丸善.
4. 川勝義夫・中尾総明 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ついて. 園学雑 36 (3): 324—332.
5. 中川行夫 1964. パッド アンド フェン式ガラス室の冷房能力について (第 1 報). 昭和39年度園芸学会 (秋) 要旨: 39.
6. 岡田 脩 1966. ビニールハウスへの換気扇の利用について. 昭和41年度園芸学会 (秋) 要旨: 167—168.
7. 渡辺 要 1957. 防寒構造. 理工図書: 196—198.
8. 矢吹万寿・今津 正 1961. ガラス室の温度制御に関する研究 (第 1 報) 栽植のない密閉したガラス室の熱収支について. 園学雑 30 (2): 171—177.
9. ———— 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.
10. ———— 1966. 農業用ガラス室の環境調節について. 農業気象 21 (1): 35—38.
11. ———— 1967. 農業環境調節の現状と問題点. 農業気象 23 (1): 39—46.
12. 米村浩次・林秀夫・岡 秀樹 1966. 夏季における温室簡易冷房に関する試験 (第 2 報) フェン アンド パッド方式についての 2, 3 の検討. 愛知園芸報 4: 85—89.

Summary

1. In the proper establishment of a ventilation fan some measurements were taken of wind volume produced by a low-speed axial-flow fan, which was improved by the authors. The result was 315.8 m³/min.

2. The wind volumes of the fan were respectively recorded as follows.

It was at the maximum when the static pressure was below 1.0 mm/H₂O. It was 2/3 when the pressure was 2.0 mm/H₂O, and less than 1/4 under the pressure of 3.0mm/H₂O.

3. In a fixation of the fan in a vinyl house 170 m³, ventilation rate, therefore, turned out 185% a minute in case that the absorptive mouthpiece was 1.6 m² under the

static pressure of 1.0 mm/H₂O; on the other hand the rate showed merely 125% a minute when the mouthpiece was 1.6 m² under the pressure of 2.7 mm/H₂O.

4. Changes in the temperature in the vinyl house under the mechanical ventilation method are mostly due to insolation outdoors. In the season when there was small radiation volume, there was little difference between the temperature indoors and the one outdoors, and in the season of much insolation the inside temperature was found to rise up rather higher than the natural temperature outdoors.

5. If it is assumed that the fan should be made use of in summer, the experiment can draw a conclusion as follows.

The proper establishment of the ventilation apparatus should follow the conditions that the vinyl house is 170 m³, that ventilation rate is 185% a minute, and that the absorptive mouthpiece is 1.6 m².

6. Yabuki's formula can be applied to effects of ventilation in different seasons.