

ハナヤサイ類の花らい形成並びに発育の
温度条件に関する研究 (第4報)
温度制御条件下における植物体温と室温の関係

藤 目 幸 擴, 廣 瀬 忠 彦

STUDIES ON THE THERMAL CONDITIONS OF CURD FORMATION
AND DEVELOPMENT IN CAULIFLOWER AND BROCCOLI
IV. Relation between plant temperature and room temperatures
in temperature-controlled condition

Yukihiro FUJIME and Tadahiko HIROSE

Summary

The relation between plant temperature and room temperatures was investigated in the temperature-controlled natural light growth cabinet, in the glasshouse and in field conditions, using 'Nozaki-wase' cauliflower plants with the 7th or 8th unfolded leaf.

1. In the growth cabinet, a room temperature was controlled at 14°, 20°, 24° and 29°C and a relative humidity was kept at about 80%. The shoot tip temperature was lower than the room temperature in the growth cabinet at night. The higher the room temperature, the more the difference between room temperature and shoot tip temperature increased. On the other hand, the shoot tip temperature became higher than the room temperature during the daytime. Though the leaf temperature became higher than the shoot tip temperature in the majority of cases during the daytime, there was little difference among the temperatures in shoot tip, leaf or stem at night. However in a room temperature of 29°C, the leaf temperature became somewhat lower than the other plant temperatures at night.

2. When the room temperature of the growth cabinet was changed from 24°C to 12°C, lowering the room temperature at night was faster than during the daytime and the temperature reached 12°C in about 40 minutes. When the room temperature was changed from 12°C to 24°C, the temperature reached 24°C in about 30 minutes. Leaf temperature followed most sensitively the change of room temperature. Shoot tip temperature followed more sensitively the change than stem temperature. The latter was late and the range of change was the smallest.

3. The shoot tip temperature at 50cm above the ground in the central part of the glasshouse was able to be kept at more than 25°C when the room temperature at 20cm above the ground in the northern part of the glasshouse was controlled at higher than 26°C.

4. In field conditions the shoot tip temperature became lower than the air temperature at night. On the other hand, the shoot tip temperature became equal to or a little higher than the air temperature during the daytime as the amount of insolation increased. The stem temperature became higher than the temperature of leaf and shoot tip in many cases.

摘 要

展開葉が7～8枚になったカリフラワー‘野崎早生’を自然光式グロースキャビネット、ガラス温室及び戸外で生育させ、植物体温と室温の関係を調査した。

1. 自然光式グロースキャビネットの温度設定(定温)を14°, 20°, 24°及び29°C, 相対湿度を約80%に保った。夜間の茎頂温は室温より低下し、室温が高いほどその差は大きくなった。逆に、日中の茎頂温は室温より高くなった。日中の葉温は茎頂温より高くなるが多かったが、夜間の部位別植物体温にほとんど差はなかった。しかし、室温29°Cの時、夜間の葉温は他の植物体温よりかなり低くなった。

2. グロースキャビネットの温度設定を24°Cから12°Cに変えると、室温が低下するのは日中より夜間の方が早く、約40分後には12°Cに達した。グロースキャビネットの温度設定を12°Cから24°Cに変えると、約30分後には24°Cに達した。グロースキャビネットの室温の変化に敏感に追従するのは葉温であり、次いで茎頂温が変化し、茎温の変化はもっとも小さくかつ遅れた。

3. ガラス温室で北側の地上20cmの室温を26°Cに保つと、中央部の地上50cmの位置の茎頂温は25°Cより低下することはなかった。

4. 戸外での夜間の茎頂温は気温より低くなったが、日中の茎頂温は日射の増加に伴い、気温に等しいかあるいはやや高くなった。日中の茎温は、葉温及び茎頂温より高くなるが多かった。

緒 言

春化温度の受容部位は、intactな植物では茎頂部とされている⁽⁸⁾。そこで、春化温度を求めるということは、春化が誘起される条件下での茎頂部の植物体温を求めるということであり、春化を誘起するには、茎頂温を所定の温度に到達させなければならない。しかし、茎頂部のような微細な部位の温度を測定することは技術的に困難なため、実際には春化が誘起される条件下の気温が測定され、便宜的に春化温度とされている。筆者らの実験においても、春化温度として植物体温ではなく気温を調べてきた⁽⁹⁾。

従って、春化温度を論議する際には、植物体温(とくに茎頂温)と気温の関係を明らかにしておく必要がある。植物体温(とくに葉温)は日射、気温あるいは風速などの影響を受け、日中は気温より高く、夜間は逆に気温より低く経過することが多いとされている^(18,19)。植物体の部位によっては、その形状及び蒸散の場である気孔の分布は同じでなく、植物体温は部位によって異なると思われる。植物体温のうち、葉温^(10,11,12,18,19)及び果実温^(1,9,16)と気温との関係については幾つかの報告があるが、茎頂温の測定例はなく、気温との関係は明らかでない。

そこで、植物体温(茎頂温、茎温及び葉温)と気温との関係を調べたところ一定の関係が認められたので、その結果を以下に報告する。

材料及び方法

実験1. 定温条件下における植物体温

定温条件下における植物体温と室温との関係を究明するため、室温14°, 20°, 24°及び29°Cで植物を育て、茎頂温、茎温及び葉温の変化を測定した。

供試植物にはカリフラワー‘野崎早生’を用いた。1979年4月20日にガラス温室(最低夜温20°C)には種し、展開葉が約4枚時に移植を行い、展開葉が約7枚になった5月28日に1/5,000 aのワグナーポットへ鉢上げした。6月9日に5個体を自然光式グロースキャビネットへ移し、別の5個体を戸外へ移した。グロースキャビネットの外形寸法は1.5m(縦)×1.5m(横)×1.7m(高さ)、平均風速は0.5m/秒、相対湿度は80%に制御した。室温の設定は14°C(6月10日午後5時～6月11日午後5時)、20°C(6月11日午後5時～6月12日午後5時)、24°C(6月12日午後5時～6月13日午後5時)及び29°C(6月13日午後5時～6月14日午後5時)とした。グロースキャビネット内外においた植物の植物体温、露点、気温及び日射量を測定した。植物体温の測定には日射の影響をさけるため直径0.1mmの銅・コンスタンタン熱電対を用い、茎頂部、茎の中央部及び葉の表面中央部の葉肉部へ密着させた。垂直な茎頂部及び茎部の南面側で茎頂温と茎温を測定し、葉温は水平な展開葉の中央で葉脈をさけた位置を選んで測定した。グロース

キャビネット内外の気温及び露点の測定にはデジタル温湿度計(塩化リチウム露点センサー)を用い、測定位置は床面あるいは地表面より50cmの高さ(植物体の茎頂部と同じ高さ)とした。露点と気温の測定値から、飽差と相対湿度を算出した。日射は可視線日射計で測定した。各室温でのこれらの計器からの出力をデジタルデータ集録器(YODAC-8)に入れ、30分おきに24時間同時記録させた。実験期間中の天候、気温、日射量及び風速を、香川大学農学部気象月表より抜粋して第1表に示した。熱電対を用いた植物体温の測定の様子を第1図に示した。なお、6月10日午後5時～6月12日午前10時の日射量は、計器の接続不良のため測定できなかった。6月14日午前11時30分に室温が高くなりすぎたので、温度設定を2℃下げた。

Table 1. Date, air temperature, amount of insolation, wind velocity and weather.

Date	Air temperature, °C			Amount of insolation cal/cm ² /day	Wind velocity, m/sec		Weather
	Mean	Max.	Min.		Mean	Max.	
1979, June 5	22.2	27.0	14.1	597	2.0	8.5	①
June 6	21.6	25.5	17.0	248	1.9	8.5	☉, ●
June 7	22.7	24.5	21.2	227	2.2	6.8	☉
June 8	23.4	25.5	20.9	244	1.2	8.0	☉, ●
June 9	23.8	29.0	19.0	559	1.9	8.0	①
June 10	—	—	—	417	1.8	8.5	①
June 11	—	—	—	192	1.3	5.4	●
June 12	23.4	28.0	21.0	296	1.5	6.3	☉
June 13	23.2	26.0	15.5	240	1.3	5.6	☉
June 14	24.3	27.8	20.9	412	1.3	5.7	①

実験2. 変温条件下における植物体温

変温条件下における植物体温と室温の関係を究明するため、室温を24℃あるいは12℃に変え、変温処理に伴う植物体温の変化を調査した。

実験1に用いたと同じ個体を供試した。温度制御条件を定温から変温(24℃↔12℃)にした以外、測定方法及び測定項目は実験1の場合と同じにした。実験は、1979年6月8日～6月10日に行った。午前6時～午前8時、午前11時～午後2時及び午後5時～午後8時の室温を24℃として、それ以外の時間の室温は12℃とした。なお、測定は6月8日の午後6時7分より開始して、30分おきに2日間行った。



Fig. 1. View of measurement of plant temperature using a thermo couple.

実験3. ガラス温室における植物体温

ガラス温室における植物体温と室温との関係を調べるため、温風暖房器を用いて最低夜温を26℃に保ったガラス温室内で、植物体温の変化を調べた。

実験には、実験1に用いたと同じ個体を供試した。1979年6月5日に5個体を温室におき、さらに5個体を戸外へおいた。供試したガラス温室は南北棟で、大きさは9.45m×7.2m、軒高は2mであった。用いた電気温風暖房器のヒーター容量は15KW、出力は12,900Kcal/時であった。測定方法及び測定項目は実験1の場合と同じにした。実験1と異なる点は、地上50cmの気温及び露点を測定する代わりに、地上20cm及び地上100cmの気温と地上20cmの露点を測定したことである。実験は6月5日午後5時～6月7日午後5時まで行い、その間に30分おきに測定した。なお、温室北側の地上20cmに自記温度記録計をおき、この位置の最低夜温が26℃を下らないように電気温風器を作動させた。

結 果

実験1 定温条件下における植物体温

グロースキャビネットにおいた夜間の茎頂温は室温より低く、室温の高いほど室温—茎頂温差は大きくなった(第2図～第5図)。茎頂温がもっとも低下した時の室温—茎頂温差は、室温 14°, 20°, 24° 及び29°Cの時にそれぞれ

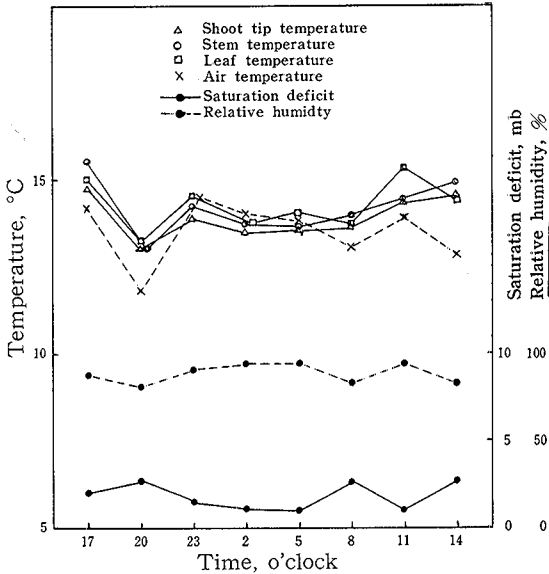


Fig. 2. Relation among plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a natural light growth cabinet kept at a constant temperature of 14°C (Exp. 1).

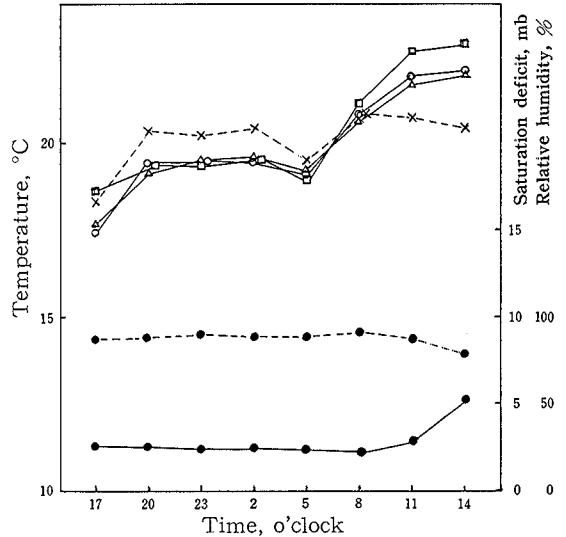


Fig. 3. Relation among plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a natural light growth cabinet kept at a constant temperature of 20°C (Exp. 1).

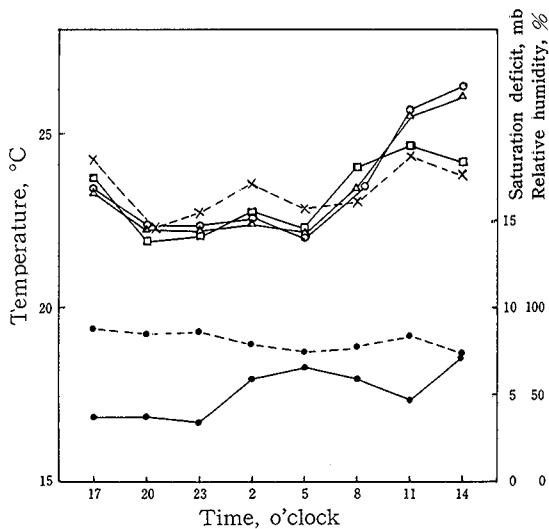


Fig. 4. Relation among plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a natural light growth cabinet kept at a constant temperature of 24°C (Exp. 1).

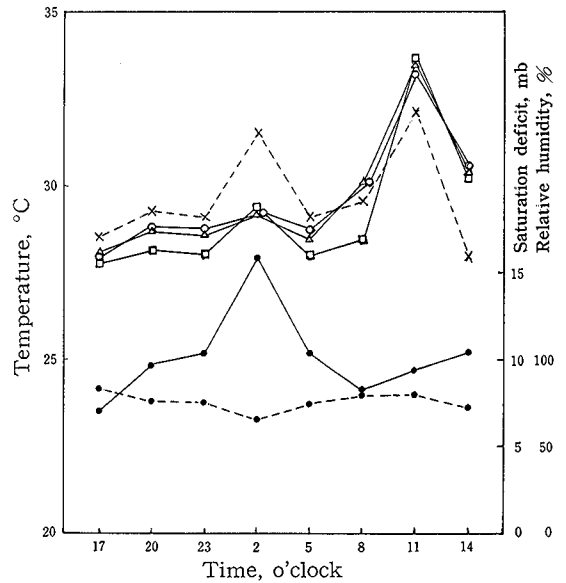


Fig. 5. Relation among plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a natural light growth cabinet kept at a constant temperature of 29°C (Exp. 1).

1.7°, 1.58°, 2.17° 及び 2.38°C であった。日中の葉温は茎頂温より高くなるが多かったが、夜間の部位別植物体温にほとんど差はなかった。ただし室温 29°C の場合、夜間の葉温は他の植物体温よりかなり低くなった。室温の設定を 14°, 20°, 24° 及び 29°C とした時、平均相対湿度はそれぞれ 88.3, 87.8, 81.8 及び 75.7% で、室温 29°C の場合にやや低下していた。夜間（午後 8 時～午前 5 時）の平均飽差は室温 14°, 20°, 24° 及び 29°C の時にそれぞれ 1.50, 2.46, 4.98 及び 11.52 mb と室温の高いほど大きく、室温の高いほど蒸散は大きかったと推察される。

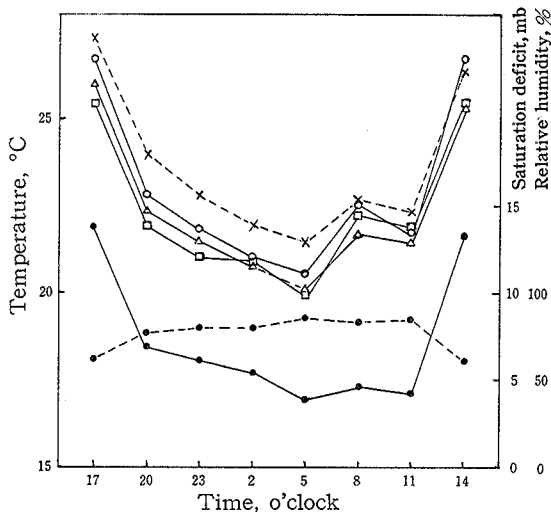


Fig. 6. Relation among plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a field condition (Exp. 1).

せる場合より早く、約 30 分後には 24°C に達した（第 7 図）。室温の上昇あるいは低下に敏感に反応するのは葉温であり、次いで茎頂温が変化し、茎温の変化はもっとも遅れた。日中の植物体温とくに葉温は、日射量の増加に伴い、室温よりかなり高くなった。

戸外においた植物の夜間の植物体温は気温より低いが、午前 6 時頃より気温に等しくなった。その後、日射量の増加に伴って植物体温、とくに茎温は気温より高くなった（第 8 図）。

実験 3. ガラス温室における植物体温

2 日間植物体温を測定したところ、その測定結果はほぼ同じであったため、6 月 5 日～6 月 6 日の結果を第 9 図、第 10 図に示した。夜間は電気温風暖房器が作動するのに伴い、地上 20cm 及び地上 100cm の気温はかなり上昇した。地上 20cm の気温はかなり変化し、25°C より低くなることもあったが、茎頂温は 25°C 以上に保たれた（第 9 図）。植物体温の中では葉温が室温の変化の影響を大きく受けてまず変化し、上昇あるいは低下した。

温室内の日射量は戸外の場合に比べると、約半分に減少していた。戸外の気温は低かったためか、植物体温と気温の差は小さかった（第 10 図）。

考 察

植物体温と気温が同じでないことは、古くから知られていた。しかし、植物体温と気温などの気象要因を同時に測定して、その関係が調べられるようになったのは近年になってからのことである。本実験で、自然光式グローブキャビネットでカリフラワーを育てると、夜間の植物体温（茎頂温、茎温及び葉温）は室温より低下し、その差は室温の高いほど大きく、葉温を測定した Matsui・Eguchi^(10,12) の結果と一致した。一般に、夜間の植物体温は放射冷却のため気温より低くするとされている。しかし、このことは主として葉温について測定されており、茎温についての報告は極めて少なく⁽²¹⁾、茎頂温の測定例はない。夜間の葉温は室温以外に風速及び湿度の影響を受け、風速の増加するほど葉-気温差は小さくなり、湿度の低いほど葉温も低下するとされている^(11,12,18,19,20,21)。Matsui・Eguchi^(10,12) は、室温が高くなるほど夜間の葉-室温差の大きくなることを示したが、その原因については述べていない。本実験

戸外においた植物の茎頂温は気温より常に低く、その平均温度差は 1.01°C であった。夜間の葉温は茎頂温及び茎温よりやや低く、日中の茎温は茎頂温及び葉温より高くなった（第 6 図）。

どの測定時においても、グローブキャビネット内の日射量は戸外の場合の約半分になっていた。例えば、6 月 12 日の午前 10 時 15 分～午後 5 時までのグローブキャビネット内の日射量は 72.97 cal/cm²、戸外のそれは 145.67 cal/cm² であった。

実験 2. 変温条件下における植物体温

植物体温及びその他の気象要因を 2 日間測定した結果はほぼ同じであったため、6 月 8 日～6 月 9 日の結果を第 7 図、第 8 図に示した。室温の設定を 24°C から 12°C に変えると、室温が低下するのは日中より夜間の方が早く約 40 分後には 12°C に達したが、日中には約 60 分後に 12°C に達した。室温の設定を 12°C から 24°C に変えると、室温が上昇するのは低下さ

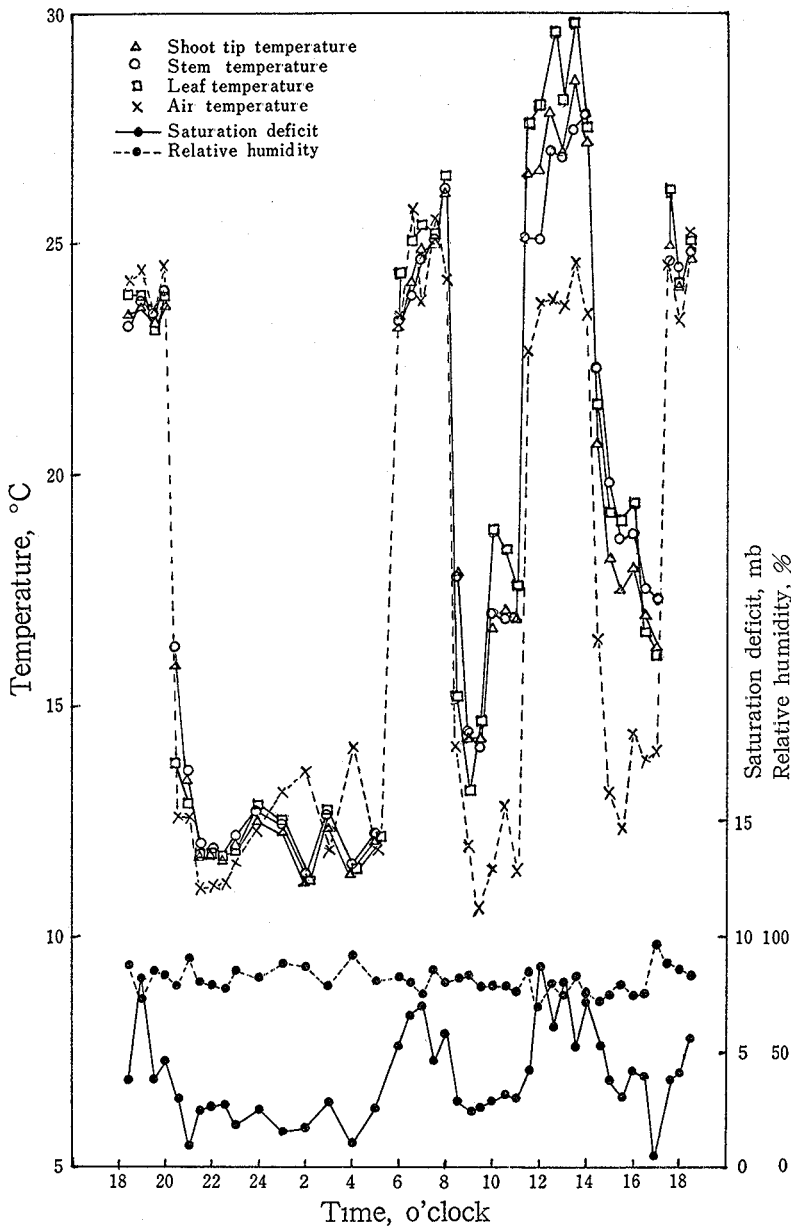


Fig. 7. Effect of air temperature on plant temperature and saturation deficit when air temperature was changed from 12°C to 24°C and vice versa in a natural light growth cabinet. Air temperature was changed from 12°C to 24°C at 6:00 a. m., 11:00 a. m. and 5:00 p. m. and from 24°C to 12°C at 8:00 a. m., 2:00 p. m. and 8:00 p. m. (Exp. 2).

はグロースキャビネットで行い、風速は一定であった。相対湿度は約80%に制御されており、室温29°Cの場合にのみ若干低くなっていた。相対湿度が同じであっても室温が異なれば、飽和蒸気圧との差である飽差は異なり、ダウンズ・ヘルマース⁽²⁾と佐伯⁽¹⁷⁾も指摘しているように、室温の高いほど飽差は著しく大きくなる。そこで、室温の高いほど飽差が大きいため蒸散が盛んになり、気化熱を奪われた結果、植物体温は室温より低くなったと推察される。

室温 14°, 20° 及び24°Cの場合、夜間における部位別の植物体温に差はほとんどなかった。しかし、室温29°Cにおいては葉温がもっとも低く、次いで茎頂温、茎温の順に室温に近くなることが示された。茎からの蒸散は皮目に限ら

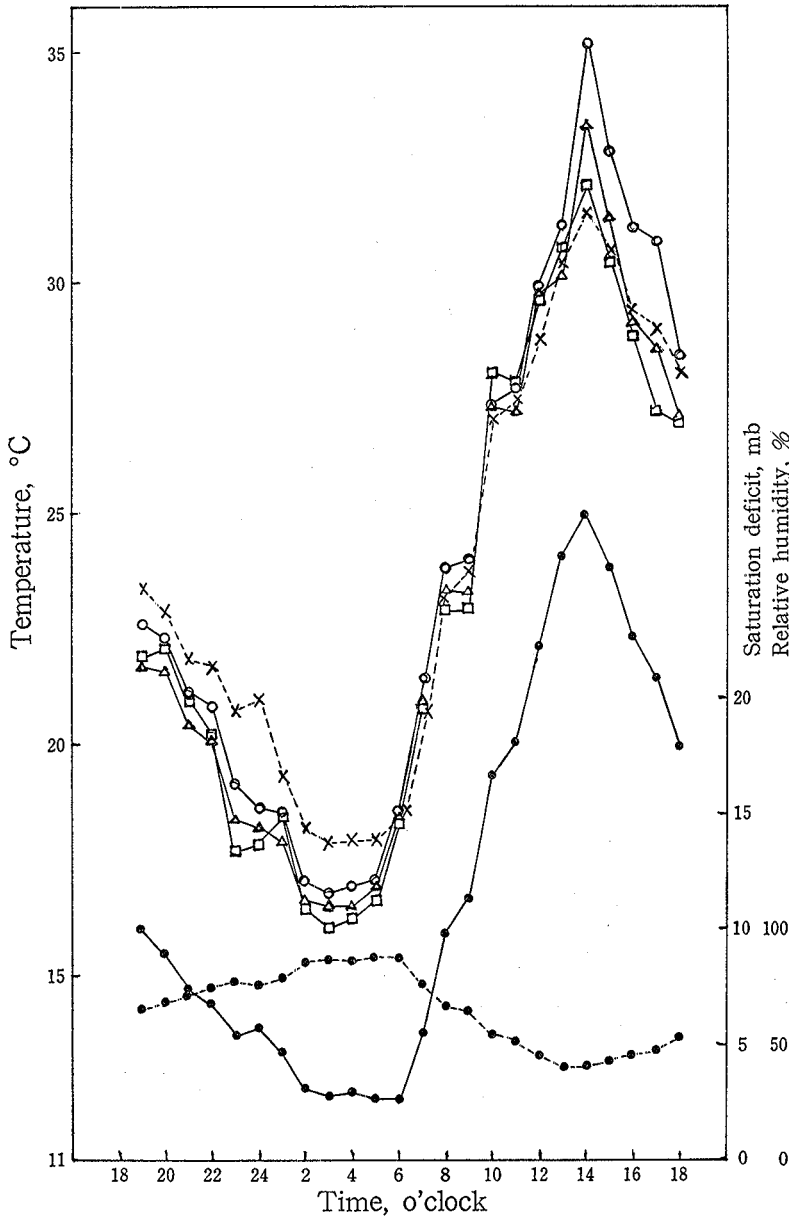


Fig. 8. Relation among plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a field condition (Exp. 2)

れるが、葉面においては蒸散の場である気孔の分布が多く、クチクラ層もよく発達している。また、茎頂部における気孔及びクチクラ層の発育は展開葉より劣ると思われる。そこで、蒸散がもっとも盛んに行われた葉面の温度がもっとも低下し、次いで茎頂部の温度が茎温より低くなったと思われる。山本⁽²¹⁾も夜間の植物体温を調べ、茎温より葉温が低くなることを報告している。

本実験で、自然光式グロースキャビネット内の日中の茎頂温、茎温及び葉温は室温より高くなることが示された。日中の植物体温についての報告はほとんどが葉温^(4,5,6,7,10,11)あるいは果実温^(1,9,16)についてであり、茎頂温及び茎温と気象要因との関係は明らかでない。上記の報告によれば、日中の気温上昇及び日射の増加に伴って葉温は高くなり、また風速の増加するほど葉一気温差は小さくなり、湿度が低くなるのに伴い葉温も低下するとしている。本実験でグロースキャビネットの室温、風速及び湿度はほぼ一定に制御されていた。従って、日中の植物体温が室温より高

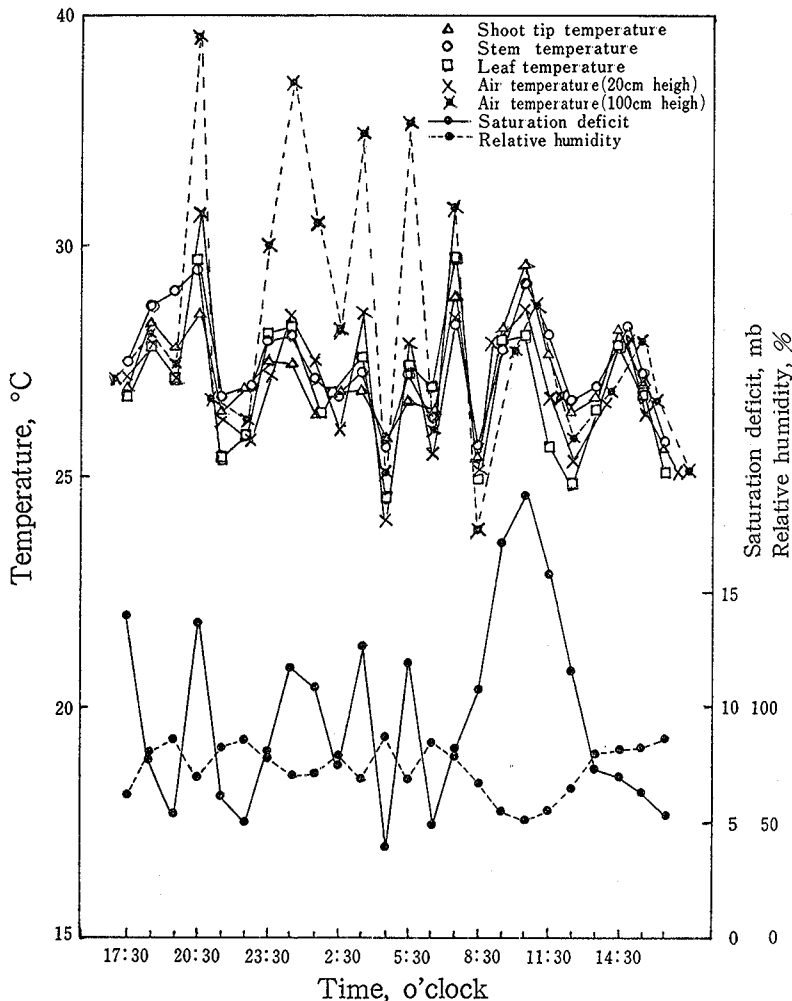


Fig. 9. Transition of plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a glasshouse (Exp. 3). The glasshouse was heated with a heater from 6:00 p. m to 9:00 a. m. to maintain air temperature above 26°C.

くなつたのは、日射量が増加したためと考えられる。日射量のもっとも増加したと思われる午前11時～午後2時の葉一室温差が大きいことから、この可能性は高いと思われる。また、Matsui・Eguchi⁽¹⁰⁾ と Horie⁽⁷⁾ は日中の気温の低いほど葉一室温差が大きいと報告している。しかし、本実験では葉一室温差と室温との間に一定の傾向は認められなかった。これは、Matsui・Eguchi⁽¹⁰⁾ と Horie⁽⁷⁾ の実験では放射強度を一定にしていたのに対して、本実験は自然光式グロースキャビネットで行っており、それぞれの室温における日射量が異っていたためと思われる。

日中の部位別の植物体温には差があり、葉温がもっとも高く、茎温と茎頂温の間にはほとんど差のないことが示された。これは、茎頂部と茎が鉛直方向に位置するのに対し、葉面はほぼ水平方向にあり、日射の影響を大きく受けるためと思われる。武智^(18,19) はイネを用い、水平葉の方が鉛直葉より受光量は大きく、葉温も高いことを報告している。本実験で日中の葉温は常に室温より高く、また室温の変化に敏感に反応し、室温の低下に伴って葉温も低下して茎頂温及び茎温より低くなることが示された。葉温は気温の変化によく追従するが、茎、果実、枝及び幹の温度は遅れて変化することが報告されている^(14,15,21)。葉温が他の植物体温より気温の変化に敏感に反応するのは、その形が薄くて扁平であり、体積の割合に比べて表面積が大きく、熱を効率よく伝導するためと考えられる。気温の変化に植物体温が追従できずに遅れる現象について山本⁽²¹⁾ は、空気と植物体の熱容量の差によると報告している。

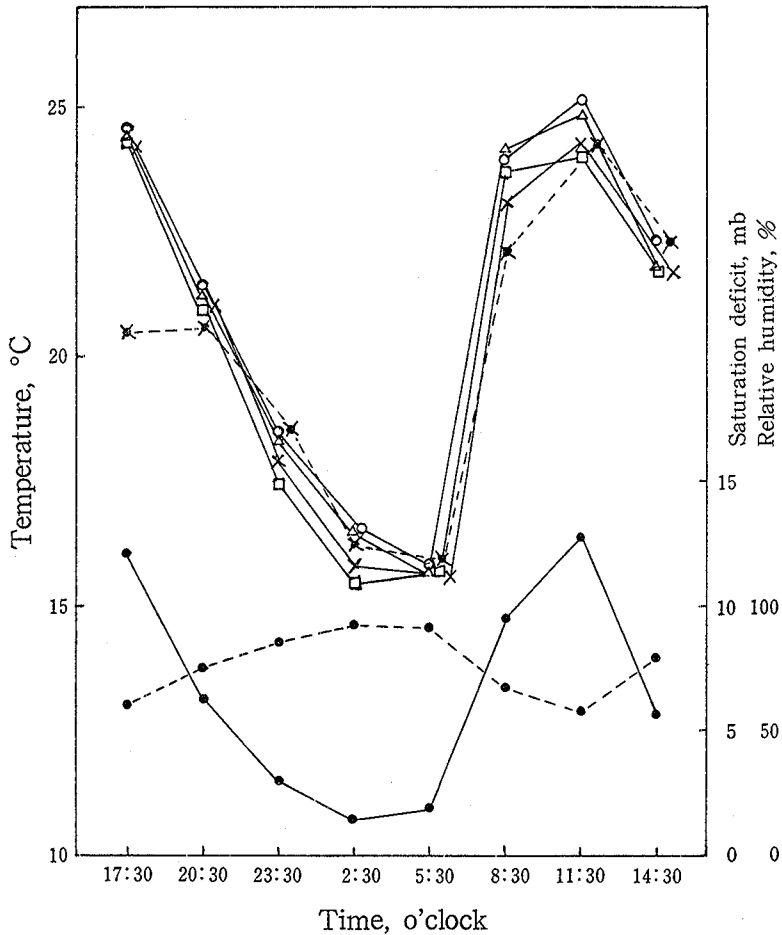


Fig. 10. Transition of plant temperature, air temperature, relative humidity and saturation deficit in a field condition (Exp. 3).

戸外での日中の植物体温の変化はグロースキャビネットの場合と異なり、茎温がほとんどの場合もっとも高くなることを示された。同時刻のグロースキャビネット内外の気象条件を比較すると、戸外の日射量はグロースキャビネット内の約2倍あり、日射量の多いほど葉温は高くなるため、葉温が他の植物体温より高くなると思われた。しかし、戸外の飽差はグロースキャビネット内より著しく高くなっており、そのため蒸散が盛んになって気化熱を奪われ、葉温が茎温より低くなったのではないかと推察される。長谷川⁽⁵⁾は、日中のイネの葉温は気温より低いが生葉の葉温は気温より高いことを示し、この原因はイネの蒸散が生葉より高いためであることを明らかにしている。植物体温は、日射量、湿度、飽差以外に気温及び風速の影響を受けるが、本実験におけるグロースキャビネット内外の気温及び風速は同じでなく、これらが植物体温にどのような影響を及ぼしたかは明らかでない。

グロースキャビネットの日中の室温は12°Cから24°Cに上昇させるには約30分でよいが、逆に24°Cから12°Cに低下させるには約60分必要なが示された。自然光式グロースキャビネットにおいては、その壁面及び床面が日射を受けているため、日中の温度上昇は低下の場合に比べて短時間におこると思われる。グロースキャビネットの室温が所定の温度に達する頃、茎頂温もほぼ同温度に達することが示された。しかし先述したごとく、日中の植物体温は室温より高く、夜間にはその逆になる。日射量の多い時には植物体温は室温よりかなり高くなると考えられ、葉-気温差は草本植物で5°C以上、ミカン葉では10°C以上になることも珍しくなく、20°C以上に達する例も報告されている^(18,19)。本実験でも日射量の多かった6月9日には、葉-気温差は6°C以上に達している。従って、日中に外気温より室温を低くする際には、例えば室温は所定の温度に低下しても、植物体温とくに葉温は室温より高いことを考慮に入れる必要がある。

南北棟のガラス温室における気温の水平分布は、風上側が風下側より高いとされている⁽¹³⁾。本実験ではガラス温室の南北の温度差を1℃と考え、温室北側の地上20cmの位置に自記温度記録計をおき、26℃以上になるよう管理した。その結果、夜間の茎頂温は25℃より低下しなかったことが示された。温室における気温の垂直分布は加温方法によって異なるとされ、温風暖房器による場合には高い位置ほど高温になることが報告されている⁽²²⁾。本実験においても地上100cmの気温は地上20cmの気温より常に高く保たれていた。植物のおかれていた温室中央部で、地上20cmの気温は25℃より低くなることもあったが、茎頂部は地上50cmの位置にあったため25℃より低くならなかったと思われる。植物体温の変動は気温のそれより小さいことが報告されており⁽²¹⁾、本実験においても同じ結果が得られた。植物体温の変動が気温のそれより小さいのは、植物体の熱容量が空気のものより大きいためであり、また植物体は多量の水を含むため比熱が大きく、植物体温の変化が緩やかであるため⁽²⁾と思われる。

謝 辞

香川大学助教授中條利明博士には、植物体温並びに気象要因の測定にあたり有益な助言を頂いた、ここに厚く謝意を表す。

引用文献

- (1) 大東 宏：温州ミカン果実の成熟生理に関する研究，京都大学学位論文（1979）。
- (2) ダウンズ，ヘルマース：環境と植物の生長制御（小西通夫訳），p. 7-33，学会出版センター，東京（1978）。
- (3) 藤目幸擴：ハナヤサイ類の花らい形成並びに発育の温度条件に関する研究—特に異常花らいについて—，香川大学農学部紀要，**40**，1-123（1983）。
- (4) 長谷川史郎：C₃植物とC₄植物に関する農業気候学的研究，(3)蒸散量ならびに葉温，農業気象，**33**，129-136（1977）。
- (5) 長谷川史郎：C₃植物とC₄植物に関する農業気候学的研究，(4)イネとヒエの葉温と蒸散量の日変化，農業気象，**34**，119-124（1978）。
- (6) 橋本 康，森本哲夫，船田 周：植物生育のプロセス同定とその最適制御，(Ⅲ)環境要因のステップ入力に対する植物葉温の動特性，生環調，**14**，67-73（1976）。
- (7) HORIE, T.: Studies on photosynthesis and primary production of rice plants in relation to meteorological environments. III. A model for the simulation of net photosynthesis, transpiration and temperature of a leaf and a test of its validity. *J. Agr. Met.* **35**, 201-213(1980)。
- (8) LANG, A.: Physiology of flower initiation. *Encyclopedia of plant physiology.* **XV/1**, 1380-1536(1965)。
- (9) 松井鑄一郎：ナツミカンの着色研究，(Ⅱ)果面温度，生環調，**12**，25-34（1974）。
- (10) MATSUI, T. and H. EGUCHI.: Effects of environmental factors on leaf temperature in a temperature-controlled room. *Environ. Control in Biol.* **8**, 27-31（1971）。
- (11) MATSUI, T. and H. EGUCHI.: Effects of environmental factors on leaf temperature in a temperature-controlled room. II. Effect of air movement. *Environ. Control in Biol.* **10**, 15-18（1972）。
- (12) MATSUI, T. and H. EGUCHI.: Feedback control of leaf temperature. *Environ. Control in Biol.* **11**, 9-17（1973）。
- (13) 三原義秋：施設園芸の気候管理，p. 21-46，誠文堂新光社，東京（1972）。
- (14) 中川行夫：植物体温に関する研究（第2報），農業気象，**13**，17-21（1957）。
- (15) 中川行夫：植物体温に関する研究（第3報），苹果の袋掛栽培の環境について，農業気象，**14**，57-60（1958）。
- (16) NAKAGAWA, Y.: Studies on the microclimate in the cultivated land and on the plant temperature. *Bull. Nat. Inst. Agr. Sci., Ser. A.* **10**, 127-165（1963）。
- (17) 佐伯敏郎：水の吸収・移動・排出，古谷・宮地・玖村編著，物質の交換と輸送，p. 112-140，朝倉書店，東京（1972）。
- (18) 武智 修：植物の葉温と熱収支，農業気象，**24**，95-102（1968）。
- (19) 武智 修：みかん園の微細気象と葉の熱収支に関する研究，愛媛大農紀要，**17**，51-184（1972）。
- (20) 内嶋善兵衛：耕地上での拡散・輸送現象，坪井八十二編著，農業気象ハンドブック，p. 116-142，養賢堂，東京（1974）。
- (21) 山本雄二郎：暖房ハウスにおける作物体温について，農業気象，**29**，123-125（1973）。
- (22) 山本雄二郎，青木 清：施設園芸ハウスの暖房設計に関する実験的研究（第1報），農電研報，**72003**，1-22（1972）。

(1983年10月31日受理)