

土佐ブントンの果実発育に及ぼす気温の影響

中島芳和・広常 誠

(農学部果樹園芸学研究室)

Effect of Air Temperature on Fruit Development of Tosa Buntan (*C. grandis*).

Yoshikazu NAKAJIMA and Makoto HIROTSUNE

Laboratory of Pomology, Faculty of Agriculture

Abstract: Seasonal effect of air temperature on the fruit development of Tosa Buntan (*C. grandis*) on field and in the two types of greenhouse were investigated.

All of the windows in one of the greenhouses (called as No. 1) were closed in the night from early January to late May and since then opened all day long. In the other one (called as No. 2) all windows were opened through the experimental season.

Flowering season was from late March to mid April in No. 1 greenhouse, from late April to early May in No. 2 greenhouse and from early May to late May on the field. The average air temperature during flowering was 17.7 °C in No. 1, 19.5 °C in No. 2 and 18.9 °C on the field.

Fruit set lowered in the greenhouse compared with that on the field. Fruit in the greenhouse grew markedly necked during two months after anthesis, when air temperature in the greenhouses was often over 30 °C. Transverse growth of fruit in the greenhouse was a bit suppressed from late July to early September, when maximum air temperature in the greenhouses was over 35 °C.

A part of axial parenchymatus tissue in fruit grown in No. 1 greenhouse already broke down by mid December, while the one in fruit in the other regimes showed no destruction at that time. Total sugar content in fruit juice decreased in No. 1 greenhouse and reversely increased in the other regimes from mid December to early January.

It would be estimated that total available heat (above 12.8 °C) was about 2,200 °C day degree and about 110,000 °C hour degree for the fruit maturity of Tosa Buntan.

In No. 1 greenhouse, total available heat came to 2,200 °C day degree in mid October and came to 110,000 °C hour degree in early November.

緒 言

近年、ブントンの施設栽培が盛んになり、適切な温度管理に伴う果実発育に関する知見が求められている。本実験では露地と温度条件を変えた2箇所のガラス室に栽植してある土佐ブントンを供試し、果実の発育特に成熟に及ぼす気温の影響について検討した。

材 料 お よ び 方 法

学部構内にある2箇所のガラス室と研究圃場に栽植してある4年生土佐ブントンをそれぞれ4本ずつ供試した。1箇所のガラス室(1区)では、夜間の保温と日中の異常高温防止のために1983年の1月上旬から同年5月下旬まで窓を開閉した。なお、6月上旬以後はすべての窓を開放した。一方、別のガラス室(2区)では、初めからすべての窓を開放しておいた。これら3箇所の実験場所

には、それぞれ熱電対センサーをおき、気温を連続して自記記録した。ガラス室には授粉樹が混植されていないため、満開期に 100 ppm のジベレリン溶液を散布して結実させた。一方、圃場区の一つにガラス室区との対比のため、開花期に寒冷しゃを被覆して放任受粉を防止し、同じ濃度のジベレリン散布で結実させた。開花数の測定に当っては、樹容積の約1/10に相当する平均的な垂主枝をそれぞれの供試樹から1本ずつ選び、この特定枝を対象にして1週間ごとに開花数を測定した。続いて満開1か月後からは15日おきに結果数を測定した。なお1樹当り2個の平均的大きさの果実にラベルをつけ、満開1か月後から2週間おきに果実の横径と縦径を測定した。平均的大きさの果実を1983年12月14日に4個、また翌年1月10日に5個を各処理区から採取し、品質を調査した。酸含量はアルカリ滴定によってクエン酸に換算して表示した。糖含量はソモギーネルソン法を用い、500 m μ の波長の吸光度を測定して算出した。果皮の着色度は電子色差計のハンターb値を求め、果実の赤道部2か所の平均値で表示した。有効積算温度の算出には、12.8 $^{\circ}$ C以上の日平均気温から12.8 $^{\circ}$ Cを差し引き、その値を積算する方法と、12.8 $^{\circ}$ Cから35 $^{\circ}$ Cの範囲内で、1時間ごとの平均気温から12.8 $^{\circ}$ Cを差し引き、それを積算する方法を用いた。

実験結果

実験期間の最高および最低気温はFig. 1 のとおり推移した。実験期間を通じて、最高気温は圃場よりもガラス室で常に高かった。またガラス室1区は同2区よりも1月上旬から5月下旬までかなり高かったが、6月上旬以後はごくわずかに高い程度であった。最低気温は処理区の間でほとんど差異はなかったが、1月上旬から5月下旬まではガラス室1区が1~2 $^{\circ}$ C高かった。月平均の最高と最低気温は8月に最も高くなった。開花期はガラス室1区で3月下旬から4月中旬、ガラス室2区で4月下旬から5月上旬、圃場区では5月上旬から5月下旬であった (Fig. 2)。満開日はそ

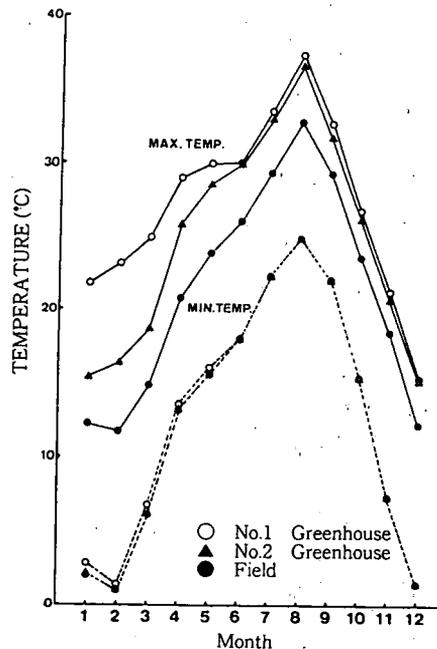


Fig. 1. Seasonal changes in air temperature during the experiment.

れぞれ1区4月12日, 2区5月2日, 圃場区5月16日であった。1月から開花期までの月平均気温

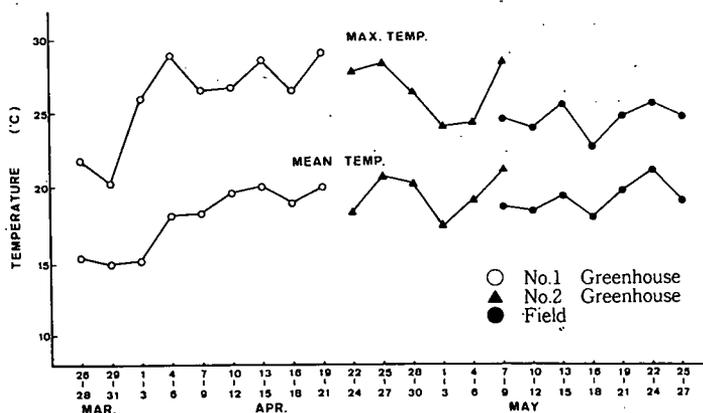


Fig. 2. Changes in air temperature in the flowering season.

Table 1. The number of current flowers and leaves generated in previous year

	Flower number
No. 1 greenhouse	3.72
No. 2 greenhouse	1.44
Field	1.43

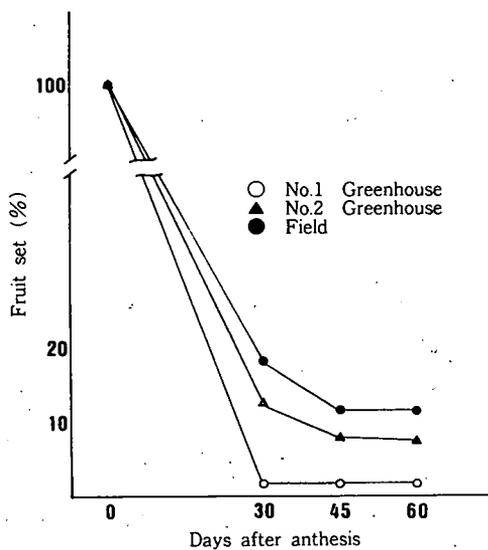


Fig. 3. Seasonal changes in fruit set.

は1区で1~2月が12.2~12.1°C, 3月が15.4°C, 2区では1~3月が8.8~8.6~12.1°C, 4月が19.1°C, 圃場では1~3月が7.4~6.2~10.6°C, 4~5月が16.3~19.7°Cであった。また、開花期の平均気温は Fig. 2 のごとく、1区17.7°C, 2区19.1°C, 圃場区18.9°Cであった。旧葉数に対する開花数の割合はガラス室1区で極端に高く (Table 1.); その1区の花数の大部分は直花で占められていた。結果率は生理落果の終了した満開2か月後に1区1.7%, 2区7.1%, 圃場区11.5%となり、全体にガラス室区の結果率が低かったが、中でも1区で極端であった (Fig. 3)。果実の肥大については、Fig. 4, Fig. 5 のごとく横径は開花期の早い処理区ほど大きくなり、7月中旬まではどの処理区とも同じ割合で増大したが、7月下旬から9月上旬にかけてガラス室区

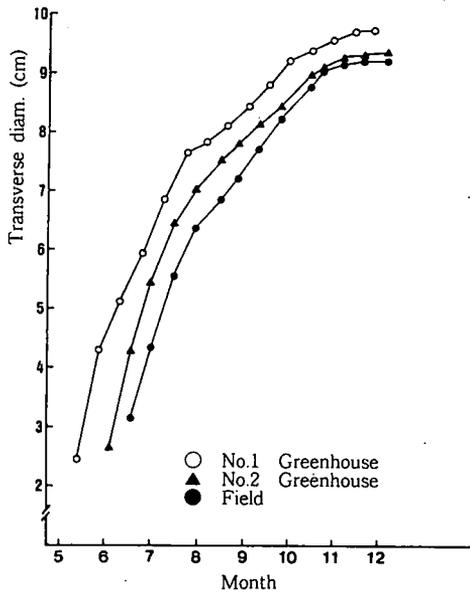


Fig. 4. Seasonal changes in fruit growth.

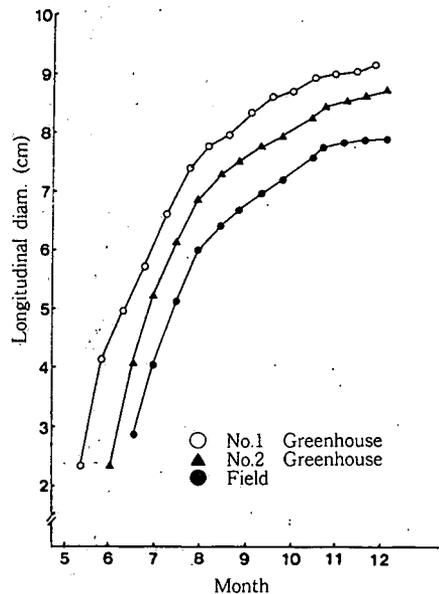


Fig. 5. Seasonal changes in fruit growth.

では増大速度がやや鈍くなった。一方、縦径はガラス室区で順調に増大したが、圃場区では8月上旬以後、ガラス室区に比べると増大速度がやや低下する傾向にあった。なお、7月下旬から9月上旬にかけてガラス室の最高気温は35°C以上となった (Fig. 6), 果形指数 (横径/縦径) の季節的

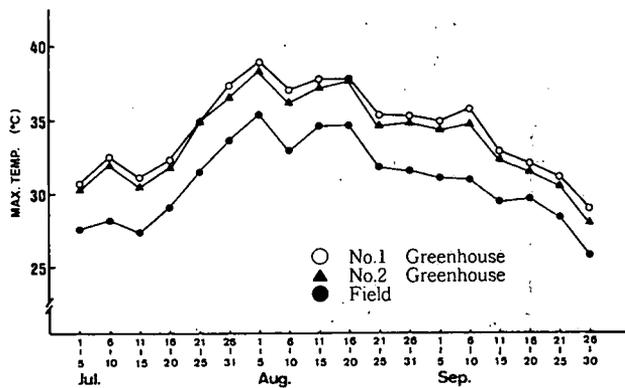


Fig. 6. Changes in max. temperature in the summer.

変化は Fig. 7 のとおりで、圃場区の果実は満開後約2か月までは横径よりも縦径の増大が著しく、そのため果形指数は低くなったが、その後は横径の増大が縦径のそれよりも優れ、満開後170日ころまで、逆に指数は上昇した。なお、その後の指数はほとんど横ばいとなった。ガラス室2区の果実では、満開後30日の時点で圃場区とほぼ同じ果形指数となったが、その後の1か月間で縦径

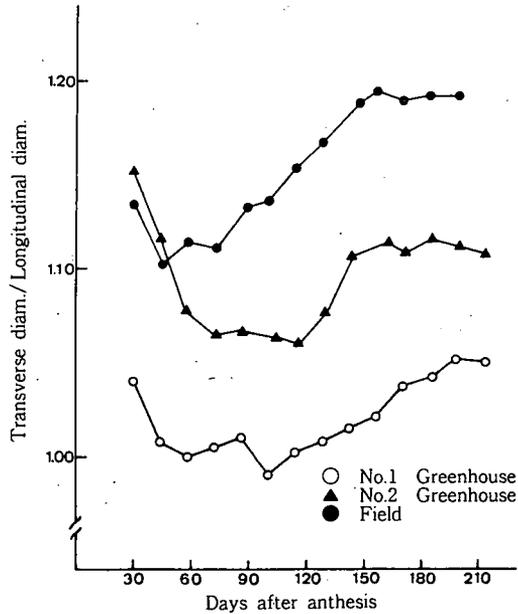


Fig. 7. Seasonal changes in fruit shape.

の増大が横径のそれをしのぎ、指数は急速に低下した。その後は横径の増大が活発となって、指数はほぼ横ばいとなった。満開後120日ころからは圃場区と同様の傾向を示した。ガラス室1区では満開後30日にすでに果形指数は低く、さらに満開後60日ころまで低下した。その後は2区と同様の

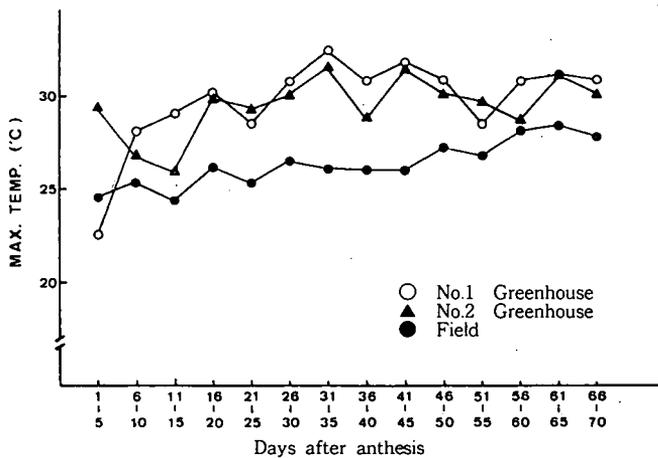


Fig. 8. Changes in max. temperature during the young fruit season.

傾向を示した。ガラス室区の果形指数が著しく低下した満開後2か月間の最高気温は圃場区では30℃を越えることはなかったが、ガラス室区ではしばしば30℃以上となった (Fig. 8)。また、昼夜の気温較差 (較差が20℃以上の場合にはその数値を点で表示) は圃場区に比べるとガラス室区で常に高く、また変動が激しかった (Fig. 9)。12月14日と1月10日に収穫した果実の着色度は Table 2.

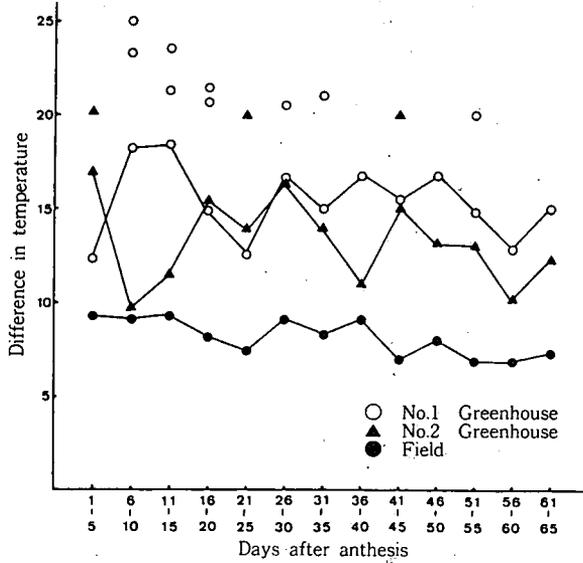


Fig. 9. Differences between max. and min. temperatures a day during the young fruit season.

のように、圃場区が最も優れ、次いでガラス室2区、ガラス室1区の順になって、ガラス室区では果皮の着色が遅れた。また、ガラス室の果実には部分的に緑色の残ったものもあった。果皮の着色期における気温の変化は Fig. 10 のとおりである。最低気温は処理区間でほとんど差異を示さ

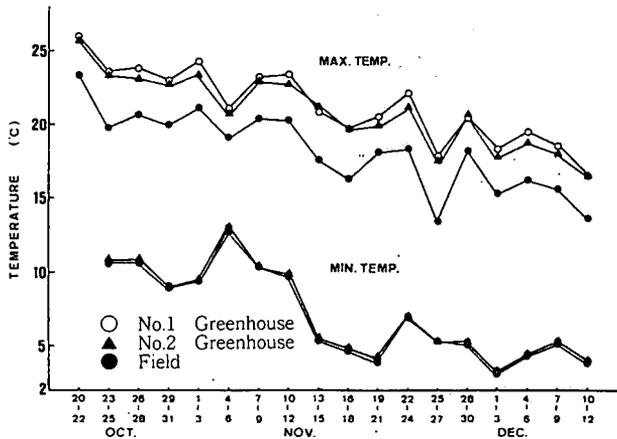


Fig. 10. Changes in air temperature during coloring season.

なかったが、最高気温はガラス室区で常に圃場区よりも高かった。したがって、この期間の昼夜の気温較差は圃場区よりもガラス室区で高かった。12月14日および1月10日に採取した果実の品質は Table 2. のとおりで、まず果重は12月14日の採取果で圃場寒冷しゃ区が小さかったが、その他の処理区ではほとんど差異がなかった。種子数はガラス室1区では皆無であったが、同2区では3～6個含まれ、また圃場の放任区では20～29個含まれていた。果汁の可溶性固形物 (TSS) 含量は両採取時期とも1区が最低で、次に2区が低く、圃場区は最高であった。また酸含量も12月14日

Table 2. *Effect of air temperature on fruit quality of Tosa Buntan*

	Fruit weight	Seed number	TSS %	Citric acid %	Total sugar %	Reducing sugar %	TSS Acid	Rind color *
Harvest date, Dec. 14.								
No. 1 Greenhouse	412.8 ^g	0	9.5%	1.37%	7.4%	3.1%	6.9	25.8
No. 2 Greenhouse	337.4	3.5	9.7	1.50	7.2	2.9	6.5	27.3
No. 1 Field **	274.8	0	11.1	1.42	8.6	4.1	7.8	28.2
No. 2 Field ***	398.9	28.5	10.0	1.55	7.5	3.6	6.5	28.9
LSD (5%)	20.8	—	1.05	N.S	0.58	0.74	N.S	1.50
Harvest date, Jan. 10.								
No. 1 greenhouse	389.5	0	9.2	1.36	6.9	3.3	6.8	26.9
No. 2 greenhouse	346.6	6.2	10.1	1.47	7.5	3.1	6.9	28.2
No. 2 Field	429.8	20.8	11.3	1.52	8.8	4.0	7.4	29.5
LSD (5%)	N.S	—	0.74	N.S	0.57	0.35	N.S	0.99

*: Hunter "b" value.

**: No cross pollination.

***: Open pollination.

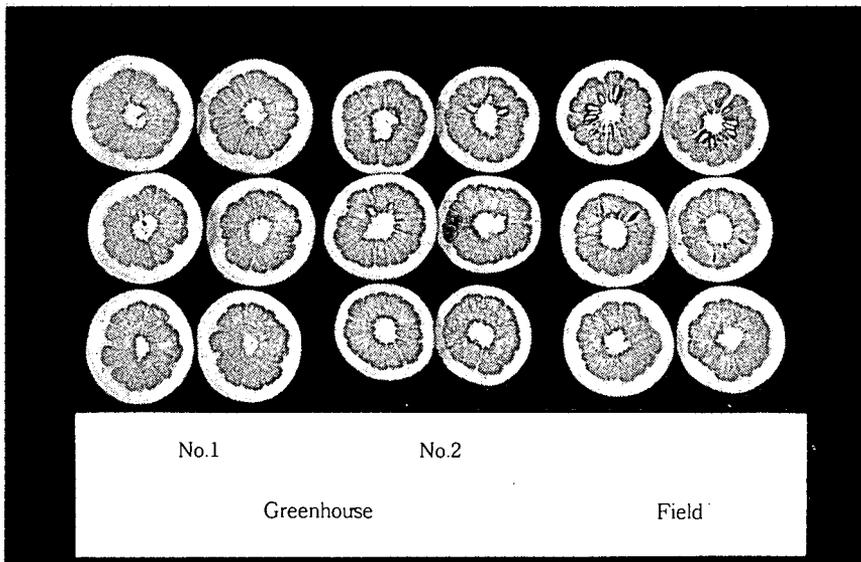


Fig. 11. Cross section of fruit picked at December 14.

の寒冷しゃ圃場区を除外すると、有意差はないがガラス室1区が最低で、次いでガラス室2区、そして放任圃場区が最高であった。全糖含量は12月14日の果実では寒冷しゃ圃場区がやや高い程度で、他区間に差異はなかったが、1月10日の果実ではガラス室1区が最低で、次いでガラス室2区、そして放任圃場区が最高であった。還元糖含量はガラス室の1区と2区の間にはほとんど差異はなく、圃場区に比べて低かった。12月14日から1月10日にかけて、同一処理区の品質要因の変化をみると、ガラス室1区ではTSS、酸および全糖がいずれも減少したが、ガラス室2区では酸が減少する一方で、TSSおよび全糖は逆にいくらか増加した。また放任圃場区でも同様に酸は減少傾向であったが、TSSと全糖、還元糖は増加した。なお、12月14日に採取した果実はFig. 11のように、ガラス室1区ですでに果心の柔組織の一部が崩壊していたが、他区の果実ではまだ正常であった。日単位および時間単位の有効積算温度はFig. 12とFig. 13のとおりである。

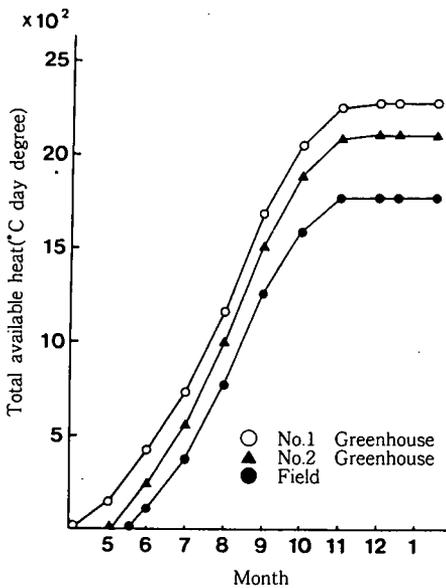


Fig. 12. Seasonal changes in total available heat (above 12.8°C)

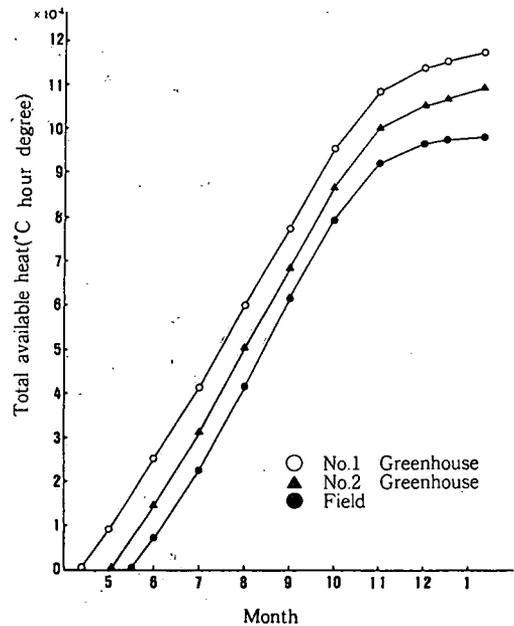


Fig. 13. Seasonal changes in total available heat (13.8-35°C)

日単位で表示した有効積算温度はどの処理区とも10月下旬を過ぎると0°Cとなったが、時間単位の場合には1月上旬まで連続して増加した。ただ10月下旬以後は徐々に積算量が減少し、特にその減少の度合は圃場区で顕著であった。実験を開始した1月上旬から12月14日および翌年の1月10日までの有効積算温度は、日単位では二つの時期ともガラス室1区2,272°C、同2区2,114°C、圃場区1,785°Cとなった。また、時間単位では12月14日まではガラス室1区115,000°C、同2区107,000°C、圃場区97,300°C、1月10日まではガラス室1区117,500°C同2区109,500°C、圃場区98,400°Cとなった。

考 察

二つのガラス室の間に気温較差をつけるため、1月上旬から5月下旬まで1区のガラス室を開閉した。その結果は日中の最高気温がかなり高くなったが、夜間の最低気温はわずか1~2°C高くなっ

た程度で、夜間の放射冷却を防ぐことは困難であった。ガラス室1区の開花開始期が同2区よりも約17日、満開期が約20日早くなったが、1~3月までの月平均気温が1区で2区よりも約3.5℃高かったことによるものと考えられる。ガラス室1区では、やや樹勢が弱く、直花が多く発生して春芽の伸長が劣った。また、開花期およびその後の幼果期に1区の最高気温は他区よりも高くなる場合が多く、それらのことが1区の生理落果を助長し、結果率を低くしたものと考えられる。カンキツでは開花期から幼果期に30℃を越える気温が続くと、一般に生理落果が多くなる⁽⁸⁾が、その原因には高温による直接の影響あるいは水分不足などに起因することが論議されている⁽⁸⁾。カンキツ果実の肥大は20~25℃で最も促進され、30℃以上では逆に抑制される^(3,8)。本実験でもガラス室区の果実横径は7月下旬から9月上旬の高温期にかなり抑制された。新居ら⁽⁷⁾は温州ミカン果実の肥大に及ぼす影響を調べ、縦径の増大は比較的高温区で優れたと報告している。本実験でもガラス室区で横径の増大が抑制された時期に、縦径の増大は圃場区と変わらず、高温による抑制作用はほとんどみられなかった。Gibson⁽²⁾は、グレープフルーツの収穫時における果径は開花前後の早い時期に決定されると報告している。また谷口⁽¹³⁾は高温と大きい昼夜の気温較差が奇形果の発生を助長することから、奇形果の発生防止のために、日中の気温は30℃以下、気温の日較差は20℃以下になる温度管理を勧めている。本実験で、果形指数がほぼ決定された時期は開花後約2か月であったが、この期間にはガラス室内の最高気温が30℃以上になる場合があり、気温の日較差もガラス室1区では20℃以上となる日が数日もあった。したがって、この異常高温がガラス室1区で奇形果の多発した原因の一つと考えられる。また、高木ら⁽¹²⁾は花器の分化ステージの早いものほど、高温の影響を強く受けると述べており、このこともガラス室1区で奇形の程度が著しかった原因の一つであろう。有効積算温度と果実肥大とは一般に相関がないとされている⁽⁸⁾が、本実験においても同様であった。栗原⁽⁵⁾は温州ミカンの試験で、果皮の着色に必要な条件は約18℃の気温が長い時間続くことであると、最高および最低気温が着色に不適な条件であっても、変温中に着色に適する温度範囲がある時間経過することによって着色が進む。したがって果皮の着色に対する気温の日較差は昼温が着色に対して高すぎる場合に必要となると述べている。また小林⁽³⁾は昼間の高温によって、クロロフィルの分解が著しく妨げられると述べ、宇都宮ら⁽¹⁴⁾は高い果実温では着色が完全に抑制されたと報告している。Erickson⁽¹¹⁾はバレンシャオレンジでクロロフィルの減少とカロチノイドの増加は日中の低気温、夜間の低気温、土壌の低気温の組合せによって影響され、これらのいずれかが高い場合には果実に緑色が残ると報告している。本実験でもガラス室で着色が遅れたが、日中の高温に伴ってクロロフィルの分解が妨げられたことによるものと考えられる。Sinclair⁽¹⁰⁾によると、カンキツ果汁の全糖含量は成熟期を過ぎると減少するが、これは非還元糖の減少によるもので、還元糖は逆に増加する例が多い。本実験では12月中旬から1月上旬にかけて全糖含量はガラス室1区で減少し、同2区と圃場区では逆に増加の傾向にあった。一方、1区の還元糖はこの期間にごくわずかに増加傾向にあったことから、1区では非還元糖が減少したことになる。晩生カンキツの中軸柔組織は成熟期にはいと次第に崩壊し始め、過熟段階ではその崩壊の程度が激しくなる⁽⁶⁾。12月中旬には、すでに1区の果実の中軸柔組織が一部崩壊しており、糖含量の変化ともあわせて、1区の果実は12月中旬には成熟段階を過ぎているものと考えられる。一方、2区と圃場区では、糖含量の変化や果心の状態から判断して、まだ過熟段階に達していないようであり、1月に収穫したガラス室2区の果実はほぼ完熟に近い状態と推定される。なお、ガラス室区の果実では圃場区に比べると全体に糖含量が低くなったが、その原因の一つとして、果実発育期のガラス室における異常高温が糖の蓄積を阻害したものと考えられる^(4,11)。ネーブルオレンジの成熟と日単位の有効積算温度との関係について、TSS含量と酸含量の比が9.15、11.18および8.78に達するまでに、それぞれ3,123℃、3,216℃、2,714℃が必要であったと報告されている⁽⁹⁾。

本実験では日単位で表示した有効積算温度は12月中旬までと1月上旬までとは同じ値となった。したがって、この期間には果実の成熟は進まなかったことになり、やや正確性を欠くきらいがある。本実験で、果実の成熟に必要な日単位の有効積算温度は12月中旬におけるガラス室1区と同2区の間程度度の果実が成熟状態にあるものと想定され、ほぼ2,200°C前後にあるものと推定される。一方、時間単位の有効積算温度は、ほぼ成熟状態と考えられる1月上旬のガラス室2区の果実をあてはめ、110,000°C前後が必要であると考えられる。有効積算温度が2,200°C日単位に達する時期はガラス室1区では10月中旬になる。また、時間単位の110,000°Cに達する1区の時期は11月上旬である。以上のことから、冬季に人工加温をしない施設栽培の土佐ブントンのその後の気温の変化に大きく左右されるが、10月中旬～11月上旬ころに成熟させることができるものと考えられる。一方、露地栽培の土佐ブントンの樹上で完熟する時期は翌春までかかるようである。

要 約

露地および二つのガラス室に栽植してある土佐ブントンを供試し、果実の発育に及ぼす気温の影響について検討した。ガラス室1区では1983年1月上旬から同年5月下旬まで、夜間に窓を閉めて保温し、同2区では、いつも窓を開放しておいた。

1. 開花期はガラス室1区で3月下旬から4月中旬、同2区で4月下旬から5月上旬、圃場区では5月上旬から5月下旬であった。開花期の気温は1区17.7°C、2区19.5°C、圃場区18.9°Cであった。

2. 結果率は圃場区に比べるとガラス室で低くなり、満開後2か月の果実はガラス室で著しく腰高となった。ガラス室区の気温はこの時期にはしばしば30°C以上となったが、圃場区では30°Cを越えることはなかった。

3. ガラス室の果実横径の増大速度は7月下旬から9月上旬にかけて抑制されたが、この時期にはガラス室の最高気温が35°C以上となった。

4. ガラス室1区の果実の中軸柔組織は12月中旬にはすでに崩壊していたが、他区の果実では、この時期にはまだ崩壊はみられなかった。

5. 果汁の糖含量は12月中旬から1月上旬にかけてガラス室1区では減少したが、同2区と圃場区では逆に増加した。

6. 果実の成熟に必要な日単位の有効積算温度は約2,200°C、時間単位では約110,000°C前後と推定される。ガラス室1区では、2,200°C日単位に達する時期は10月中旬、また110,000°C時間単位に達する時期は11月上旬である。

文 献

1. Erickson, L. C. The general physiology of citrus. In "The citrus industry". Univ. of Calif. vol II: 97-116 (1968).
2. Gibson, A. C. Developmental studies of pyriform fruits of grapefruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100: 674-678 (1975).
3. 小林 章, 果樹の早期増収と早期出荷, 誠文堂新光社 (1968).
4. ———, 果樹園芸大要, 養賢堂 (1982).
5. 栗原昭夫, 制御環境下における温州ミカン果実の生長反応 (IV), 園学雑. 42: 13-21 (1973).
6. 中島芳和, 高知県における日向夏ミカンの果実発育と発育後期の生理障害について, 高知大学農学部紀要: 22 (1973).
7. 新居直祐・原田公平・門脇邦泰, 温度が温州ミカンの果実の肥大ならびに品質に及ぼす影響, 園

- 学雑. 39: 309-317 (1970).
8. Reuther, W. Climate and citrus behavior. In "The citrus industry". Univ. of Calif. vol. III: 280-296 (1973).
 9. Sinclair, W. B. The orange. Its biochemistry and physiology. Univ. of Calif. : 39-47 (1961).
 10. ————. The grapefruit. Its composition, Physiology and products. Univ. of Calif.: 62-96 (1972).
 11. 田口亮平, 植物生理学大要 (1982).
 12. 高木敏彦・沢野郁夫・鈴木鉄男・岡本茂, ウンシュウミカンの花器及び幼果の発達に及ぼす開花期前後の温度の影響, 園学雑. 51: 257-262 (1983).
 13. 谷口哲微, ミカンのハウス栽培の基本管理, 柑橘, 31: 23-29 (1979).
 14. 宇都宮直樹・山田寿・片岡郁雄・苫名孝, ウンシュウミカン果実の成熟に及ぼす果実温度の影響, 園学雑: 51: 135-141 (1982).

(昭和59年9月30日受理)

(昭和60年1月21日発行)

