農業気象 (*J. Agr. Met.*) 47 (1): 29–34, 1991

福岡県黒木町における傾斜地ハウス内の 微気象環境特性

山本晴彦・清野 豁*・本條 均**

(農林水産省九州農業試験場)

Micrometeorological Characteristics of the Sloping
Greenhouse at Kuroki, Fukuoka Prefecture

Haruhiko YAMAMOTO, Hiroshi SEINO* and Hitoshi HONJO**

(Kyusyu National Agricultural Experiment Station,
MAFF, Chikugo, Fukuoka 833, Japan)

1. はじめに

わが国における果樹施設の栽培面積は、1986年度で約8500 ha (果樹試験場栽培部, 1986)であり、果樹栽培面積全体の2.9%である。しかし、果樹施設における栽培面積の年平均増加率は16%であり、急速な伸びを示している。樹種別にみた施設栽培面積は、ブドウが73%を占め、次いでカンキツ類が16%であり、以下モモ、ナシ、オウトウ、カキ、イチジクなどとなっている。また、施設化の程度もハウス、簡易被覆、雨よけなど多様であり、西日本を中心に全国的な規模で導入されている。

施設栽培の導入は、早期出荷が可能になるばかりでなく、病害虫防除の軽減、気象災害の回避等により生産の安定、品質の向上が図られる。また果樹栽培農家の経営改善の面からみると、収益性の向上、質的規模の拡大、経営の安定化が可能となるなど、多くの利点をもっている。近年における果実消費の動向、露地栽培ものとの価格差、さらに、経営安定化の効用等を併せて考えると、今後も果樹の施設栽培は増加するものと考えられる。

このような果樹の施設栽培においては、収量、品質などに対する環境制御の影響を明らかにして、その基準化

や適正化を図り、高品質な果実の安定多収生産をめざすための管理技術が必要である。しかし、果樹施設内の微気象環境や施設内での果樹の気象生態反応についての研究報告例は極めて少ないのが現状である (原園・矢吹, 1986)。

本研究では、果樹施設内の微気象環境特性を解明することを目的に、1987年3月から5月にかけてブドウが栽培されている傾斜地ハウスおよび露地ブドウ園の微気象環境の測定を行い比較検討したので、ここに概要を報告する。

2. 測定対象とした果樹施設の概要

測定対象としたブドウ‘巨峰’ハウスおよび露地ブドウ‘巨峰’園は、福岡県南部の黒木町の北西に位置する標高140mの中原台地の中央部に位置している (図1)。供試したハウスは、間口37m、奥行51~57m、標高3.3m、軒高1.9m、床面積1919m²、容積5613m³、南北棟、丸屋根型の連棟パイプハウスで、屋根、側面および妻面には軟質フィルム (酢酸ビニルフィルム) が被覆されている。ハウス内には、約7mの間隔で樹齢5~20年の‘巨峰’が混在して栽植されている。また、わずかではあるが南向きに傾斜がみられる。ハウスの東側には、露地ブドウ園がハウスと同様な栽植間隔で栽培されている。ブドウは、棚状に栽培管理がされており、ブドウ棚の高さは1.6~1.8mである。ハウス内にはブドウ棚より0.2~0.5mの高さに保温用の内張りフィルム (ポリエチレンフィルム) が1層張られている。

1990年9月10日 受領, 1991年4月18日 受理

* 現農林水産省農業環境技術研究所

** 現農林水産省果樹試験場

* Present address: National Institute of Agro-Environmental Sciences, MAFF, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

** Present address: Fruit Tree Research Station, MAFF, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

図1 測定対象としたブドウハウスおよび露地ブドウ園の位置

ハウスの換気は、換気扇による強制換気と側面フィルムの手動巻き上げによる自然換気を併用している。換気扇は羽根直径1mの風量型で、定格出力0.4kW、定格換気風量 $320\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ である。また、寒冷時期には温風暖房機(定格発熱量 $44000\text{ kcal}\cdot\text{h}^{-1}$ 、ネボン製)を使用して暖房を行っている。温風暖房機のサーモスタットはハウスの中央部の高さ160cmの位置に設置されており、被覆栽培期間中 $16\sim 19^\circ\text{C}$ の温度に設定されている。ハウスの中央に設置された温風暖房機からは、親ダクトを東西へ張り、さらに子ダクトを南北に張りめぐらされている。

ハウスのフィルム被覆は1987年1月8日に行われ、2月3日からは加温が開始された。4月13日以降は内張りフィルムが取り外され、一重被覆の状態である。さらに、5月20日には一重被覆が取り外されて露地栽培の状態となっている。寒冷時期を過ぎた2月下旬以降からは、日中のハウス内気温の上昇を抑えるために、側面フィルムを常時手動で巻き上げて換気を行っている。

ブドウの収穫は、ハウスで6月15日、露地で8月20日から開始され、ハウス栽培の‘巨峰’の方が、約2カ月早く出荷することが可能となった。

3. 微気象環境の測定法

供試したハウスおよび露地ブドウ園の見取図ならびに気温、相対湿度、地温、日射量および炭酸ガス濃度の測定地点を、図2に示す。気温および湿球温度の測定は、高さ210cm(ブドウ棚の上部)、150cmおよび100cm(それぞれブドウ棚の下部)の3高度について、ステンレス熱電対(MT-010T、英弘精機製)を取り付けた試作通風乾湿計を使用して行った。地温の測定は、深さ20cmの位置にステンレス熱電対を埋設して行った。測定箇所は、ハウス内の9カ所および露地ブドウ園の中央部(1カ所)である。

日射量の測定は、ブドウハウスおよび露地ブドウ園の中央部の高さ210cmに全天日射計(MS-801、英弘精機製)を設置して行った。

以上の合計72点のアナログ出力をデータローガー(MP-052、英弘精機製)により高速スキャンさせてAD変換した後、RS232Cの通信回線でマイクロコンピュータ(HC-20、EPSON製)に送りデータ処理を行った。

炭酸ガス濃度の測定は、ブドウハウスおよび露地ブドウ園の中央部のブドウ棚植被内に内径4mmのテフロンチューブの吸引口を設置して、末端を赤外線ガスアナライザー(ZSH2B061-Z、富士電機製)に導き、1分間に1lの空気を吸入することによって行った。

以上の測定は、1987年3月19日～5月29日まで実施したが、4月11日～15日、4月23日、5月2日～5日の合計10日間のデータは欠測であった。

図2 供試したブドウハウスおよび露地ブドウ園の見取図ならびに微気象測定地点

- ：気温、湿球温度(210 cm, 150 cm, 100 cm)
地温(20 cm)、日射量(210 cm)
炭酸ガス濃度(210 cm)
- ：気温、湿球温度(210 cm, 150 cm, 100 cm)
地温(20 cm)

4. 測定結果および考察

4.1 測定期間中における気温、地温および日射量の内外比較

1987年3月19日から5月29日までの測定期間におけるブドウハウス内および露地ブドウ園の気温、地温および日射量の経日変化を示したものが図3である。3月19日～4月13日は、供試したハウスは二重被覆の状態であり、日中に自然換気および強制換気を併用しても、ハウス内気温が14時に 30°C 以上に昇温する日が7回も出現し、ハウス内と露地の気温差も 15°C 以上の日が5回もみられる。

図3 ブドウハウス内および露地ブドウ園の気温、地温および日射量の経日変化

●：ブドウハウス内，○：露地ブドウ園
矢印は、保温フィルムおよび一重被覆を取り除いた期日

筆者のひとり、光合成、呼吸速度に対する生育温度の影響をみるために、ガラス室栽培と露地栽培との比較を行った結果、純光合成速度の最大値は、ガラス室栽培の「巨峰」では29℃付近にあるのに対して、露地栽培のものでは21℃付近にあり、両者比較して好適温度で8℃もの差が認められたと報告している(本條ら, 1989)。

本測定で観測されたハウス内の気温は、30℃前後であったことから「巨峰」の生育適温に近いものであったと推察される。しかし、本條ら(1989)の結果から、温度環境が35℃以上では純光合成速度の低下が認められており、日中の温度管理には、細心の注意を払う必要があ

ると考えられる。

保温用フィルムが外されて一重被覆となった4月13日以降は、露地気温の上昇にも関わらずハウス内気温の上昇は抑制され、内外気温差も小さく推移している。ただし、露地気温が20℃以下の日中ではハウス内設定温度が18～19℃であるため、ハウス内気温も20℃前後で推移しており、本條らの結果から「巨峰」の生育適温を29℃と想定すると、生育はやや抑えられたものの推察される。さらに、5月20日には、一重被覆がはがされて無被覆状態となったため、気温差はほとんど認められていない。

地温は、3月19日～4月30日はハウス内で18～20℃、露地で8～15℃で推移しており、二重被覆時で6～11℃、一重被覆時で5～11℃の地温差が認められている。山下(1976)は、ブドウの新梢伸長は、地温25℃～30℃の範囲で良好で、これより地温が低くなるにしたがって新梢の伸長は抑制されたと報告している。このことにより、ハウス内の「巨峰」の生育促進には、気温環境もさることながら高地温も影響したものと推論できる。

13～14時の露地積算日射量とハウス内積算日射量から求めたハウス内日射透過率は、4月13日までの二重被覆状態で $60 \pm 8\%$ 、一重被覆で $70 \pm 10\%$ であり、内張り保温フィルムにより約10%の日射透過率が減衰している。また、13～14時の積算日射量が、 $2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上の晴天日には、低日射量の曇雨天日と比較してハウス内日射透過率が高くなる傾向が認められている。

生育期間中に入射する日射量の積算値は、作物の生長に大きく影響を与えることが明らかになっている。本測定では、ハウス栽培において二重ならびに一重被覆により大きな保温効果が認められた反面、ハウス内に透過される積算日射量が露地栽培と比較して約60～80%に低下することが明らかになった。ブドウの生育と温度および日射量の相互関係については明らかにされておらず、今後の研究において解明する必要があるものと考えられる。

4.2 加温期のハウス内気温分布特性

昼夜間加温日の代表的な日である1987年3月30日における2時および14時のハウス内気温分布を示したものが図4である。2時の気温(設定温度19℃)は、210cmで18.0～19.3℃、150cmで17.6～19.3℃、100cmで17.5～19.2℃で、ハウス内の気温差も210cmで1.3℃、150cmで1.7℃、100cmで1.7℃で、南北方向に若干の温度勾配が認められる程度で、ハウス内はかなり均一な気温分布を示している。また垂直分布の温度むらもほとんど認められていない。14時の気温(設定温度19℃)は、2時の気温とほぼ同様な傾向を示している。以上の結果

図4 昼夜間加温日(1987年3月30日)における2時および14時のハウス内気温分布
図中の数字は気温(℃)

から、昼夜間加温日においては、ハウス内の水平方向および垂直方向の温度むらはほとんど認められなく、高い精度で制御されたことが明らかになった。

夜間加温日の代表的な日である1987年4月29日における2時および14時のハウス内気温分布を示したものが図5である。2時の気温(設定温度16℃)は、210cmで15.2~18.3℃、150cmで15.2~18.6℃、100cmで15.0~18.5℃で、ハウスの北東側は設定温度の16℃より約2℃高く、南側では設定値より若干低い値が出現しており、ハウス内の気温差は、210cm、150cmおよび100cmでそれぞれ3.1℃、3.4℃および3.5℃で、北側から南側に緩やかな温度勾配が認められている。しかし、高度差による気温の変化は小さい。

14時の気温は、210cmで28.6~35.0℃、150cmで25.3~29.3℃、100cmで21.9~25.7℃で、気温差は、210cm、150cmおよび100cmでそれぞれ6.4℃、4.0℃および3.8℃で、ハウス内の北東側から南西側にきわめて大きな温度勾配が出現している。また、高度差による気温

較差も、3.8~6.4℃と大きい。

以上の結果から、夜間加温日において、夜間の温度制御はほぼ設定値に維持されたといえる。しかし、日中は自然換気と強制換気を併用しても、ハウス上部(210cm)の北側では35℃まで気温が上昇していることから、温暖時期における被覆時の日中の温度環境を生育適温に近づける実用的な制御技術の開発が今後の課題といえる。

4.3 加温期の気象要素の経時変化

昼夜間加温日の代表的な日である1987年3月30日におけるハウス内の中央部および露地の気温、相対湿度、地温、日射量および炭酸ガス濃度の経時変化を示したものが図6である。ブドウ棚面の植被率は約30%である。

気温は、露地気温は1時から10℃で推移したのに対して、ハウス内気温は加温により約19℃で推移し、ハウス内外で9℃の気温差が認められる。露地気温は、日の出直後から上昇し始めたのに対して、ハウス内気温は日中もほぼ19℃前後で経過している。相対湿度は、露地では雨天日のために97~99%で推移したのに対して、ハ

図5 夜間加温日(1987年4月29日)における2時および14時のハウス内気温分布

図中の数字は気温(℃)

図6 昼夜間加温日(1987年3月30日)における気温, 相対湿度, 地温, 日射量および炭酸ガス濃度の経時変化

--- : ブドウハウス内, — : 露地ブドウ園

T_a : 気温, R_h : 相対湿度, T_s : 地温,

S_r : 日射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$), C_c : 炭酸ガス濃度

ス内中央部における相対湿度は1時で91.8%であり, 17時頃まで漸増する傾向を示している。地温は, 1時には露地 10.1~10.8℃, ハウス内中央部で 19.3~19.5℃ではほぼ一定の傾向が認められ, 約9℃の地温差がある。

日射量は, 雨天日のためきわめて少なく, 露地日射量, ハウス内日射量とも同様な傾向を示している。ハウス内日射量は, 露地日射量の平均 61.6%である。炭酸ガス濃度は, 露地では1時には 405 ppm 前後であるが, 以降漸減し 14時に最低値 340 ppm まで低下し, 夜間まで横ばいの状態である。炭酸ガス濃度測定機器が 500 ppm 以上は測定不能なので, 密閉状態のハウス内では, 終日 500 ppm より高い濃度であると推察される。

以上の結果から, 昼夜間加温日(1987年3月30日)においては, ハウス内の微気象環境要因が好適範囲にはほぼ制御されていることから, ‘巨峰’の生育促進に寄与したものと考えられる。

夜間加温日の代表的な日である1987年4月29日におけるハウス内の中央部および露地の気温, 地温, 日射量および炭酸ガス濃度の経時変化を示したものが図7であ

図7 夜間加温日(1987年4月29日)における
気温、地温、日射量および炭酸ガス濃度
の経時変化

--- : ブドウハウス内, — : 露地ブドウ園
 T_a : 気温, T_s : 地温, S_r : 日射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$),
 C_c : 炭酸ガス濃度
矢印は、換気を開始または終了した時刻

る。相対湿度は、湿球温度計感部が乾燥していたため、測定されていない。ブドウ棚面の植被率は約90%である。

気温は、1時には露地で9.8℃で、6時まで漸減しているが、ハウス内では加温により設定温度(16℃)より若干高目の17℃前後で推移している。露地気温は日の出直後から上昇し始めたのに対して、ハウス内気温の上昇はやや遅れ気味で、7時ごろから急激な上昇傾向が認められている。8時にはハウス内気温が23℃を越えたため、強制換気およびハウス側面フィルムの巻き上げによる自然換気を行うが、それでもハウス内気温はさらに上昇し12時には30.1℃、露地気温より約4.5℃高くなっている。ハウス内気温は、日中29℃前後で推移し、露地気温の低下に伴いハウス内気温もほぼ同様な速度で低下し、21時には設定気温の16℃にまで達している。地温は、1時には露地で14℃、ハウス内中央部で18.7℃、日中は漸減し日の入り後には漸増している。

日射量は、日の出後から急激に上昇し、12時をピークに減少する典型的な晴天日の日射特性を示している。ハウス内日射量は露地と同様な傾向を示し、ハウス内日

射透過率は露地日射量の65.6%である。炭酸ガス濃度は、露地では1時から6時ごろまでは390 ppm前後で推移しているが、6時以降から濃度が下がり始め、16時に最低値330 ppmまで低下している。17時ごろから濃度は、上昇に転じて、23時には400 ppmまで高まっている。ハウス内炭酸ガス濃度は、1時から500 ppm以上の濃度であり、換気を開始した8時過ぎから500 ppm以下に急減し、日中は露地より5~10 ppm高い濃度で推移している。ハウスの換気を停止した17時30分から炭酸ガス濃度は上昇に軽じて、19時には500 ppmに達している。

以上の結果から、夜間加温日(1987年4月29日)においては、晴天日の日中でもハウス内中央部の気温は、30℃前後で維持できることが明らかになった。

以上のように、ブドウ‘巨峰’ハウス内の気温、地温、日射量、炭酸ガス濃度等の気象環境要素を、露地ブドウ園と比較させながら総合的に検討した結果、外気温が低い昼夜間加温日では、各気象環境要素ともほぼ好適環境状態で制御が可能であることが明らかになった。しかし、外気温が高い夜間加温日においては、日中のハウス内気温の高温化、分布むらがあることが解明された。今後は、高温期の日中におけるハウス内気温環境を制御する技術の開発が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究を推進するに当たって、福岡県八女東部農業改良普及所故小林義明氏に御助言を頂いた。ここに厚く謝意を表します。さらに、ブドウ園における観測を快く認めて頂いた黒木町の原雅文様に深甚なる御礼を申し上げます。

引用文献

- 果樹試験場栽培部, 1986: 果樹施設栽培に関する調査結果。果樹試験場, 1-60。
 山下尚浩・田中 孝・島村和夫, 1976: ブドウの施設栽培における地中加温に関する研究 第3報 樹体各部の生長ならびに体内成分に及ぼす地温の影響について。園学要旨, 昭51秋, 52-53。
 原蘭芳信・矢吹万寿, 1988: 傾斜地におけるブドウの大規模施設の内部微気象環境と施設が周辺環境に及ぼす影響に関する研究。日本生命財団助成研究報告論文, 1-162。
 本條 均・鴨田福也・朝倉利員, 1989: ガラス室栽培ブドウ‘巨峰’の光合成特性, 果樹試報, A16, 65-82。