イチジクの熟成と日射量に関する統計的考察

専門会員 門 永 鉄 雄 専門会員 向 阪 信 一 正会員 柳 原 等
(松下電工株式会社) (中部電力株式会社)

Statistical Consideration of Relationship between Solar Radiant Quantity and Fig Maturation

Fellow Member **Tetsuo Kadonaga**, Fellow Member **Shinichi Kohsaka** (Matsushita Electric Works, Ltd.)
and Member **Hitoshi Yanagihara** (Chubu Electric Power Co., Inc.)

ABSTRACT

Japan does not receive enough solar energy to grow figs. By comparing the received solar energy of major fig producing areas of the world and Japan, we have derived the supplemental light energy value, which is the minimum additional light energy necessary for optimal fig maturation. By supplementing natural sunlight with this optimum value by electrical lighting, the fig season in Japan can be lengthened, crop volume increased, and fruit quality improved.

The optimum period for fig maturation in Nagoya is from June to September, when the minimum temperature remains above 20 °C in Nagoya, Athens, Izmir, and San Diego. During this same period, however, Athens receives direct sunlight for approximately 1,308 hours, while Nagoya gets approximately 638 hours, i. e. about 49% of Athens. These four months also provide average estimated solar energy levels of 17.5 MJ·m⁻²·day⁻¹ for Athens, 15.3 MJ·m⁻²·day⁻¹ for San Diego, and 8.8 MJ·m⁻²·day⁻¹ for Nagoya. A normal cultivation environment from January to March in winter will require additional supplemental light energy 5.1 MJ·m⁻²·day⁻¹ which is derived from the difference in the solar energy between 8.8 MJ·m⁻²·day⁻¹ for outdoor maturation in Nagoya and 3.7 MJ·m⁻²·day⁻¹ for a green house in winter.

KEYWORDS : fig, maturation, coloring, daylight-hours, solar radiant energy, solar irradiance, supplemental light energy value

1. はじめに

イチジク果実は、小アジア地域を原産地とする亜熱帯性植物¹⁾であり、露地での栽培が主流である。わが国では、その収穫時期は8月下旬から9月上旬に限られている。この季節の制約を排除し収穫時期の多様化を図ることが、商品としての付加価値を高めることにつながると考えて、温室内での栽培を試みることにした。

この試みの成否は、温室内の環境をイチジク果実の成長に適したものとすることにかかっており、通常の露地栽培期に冬期を模擬した環境を温室内に実現し、その中で人工的に制御すべき諸要件の検討を試みる実験を行うことにした。本論文は、温室内に実現すべき模擬環境の主要設定要因と考えられる、日射量の数値指標の設定及び解明に至る諸検討の内容を述べ、その設定した指標の実現手段についても言及している。

まず、温室内の模擬環境の設定要因を抽出するため、イチジク果実の成長とそれに影響を与えると考えられる事項を調査し、気候要素としては気温と日照時間（日射量）が重要であると判断した。気温の調節は比較的容易であるので、以後の検討は日射量に着目して進めることにした。次に、この実験を名古屋で実施することを踏まえて、世界におけるイチジクの主要産地と名古屋の気

候要素、特に気温と日射量を比較・検討した。気温については気象資料が得られ、イチジクの成長期（6月～9月）における主要産地では、いずれも平均20℃以上であることが判明し、これを温度の成長要件とすればよいと判断した。しかし、日射量については、資料が得られなかったので、快晴時の直達日射量と日照時間から各産地の気象に応じた直達日射量を計算し、比較をした。

その結果一日の積算日射量の成長期4ヶ月間にわたる平均値が、アテネで17.5MJ·m⁻²·day⁻¹、サンディエゴで15.3MJ·m⁻²·day⁻¹、名古屋で8.8MJ·m⁻²·day⁻¹であり、名古屋の日射量が他の産地に比べて非常に少ないことが判明した。しかし、名古屋が露地栽培におけるわが国での主産地であることを考慮して、この日射量を成長要件とすることが妥当であると考えた。上記の検討結果に基づき、1月～3月の期間に名古屋で温室栽培を行うことを前提として、この期間について推定した野外の日積算日射量の平均値6.1MJ·m⁻²·day⁻¹からビニール被覆の透過効果を考慮して温室内への入射量を求めると3.7MJ·m⁻²·day⁻¹が得られた。

従って、果実が成熟し着色するためには、成長期の日射量8.8から温室内の入射量3.7の差5.1が不足する日射量となる。この結果より日射量の単位を除いた数値を人工光で補うための指標5.1とする。

2. 果実の産地

2.1 生産地

イチジクは原産地の小アジアは、地中海と黒海とに挟まれた西アジアの半島地域、面積は50万平方km¹⁾ほどであり、トルコが大部分を占める。トルコ（イズミール）、地中海沿岸のギリシヤ（アテネ）、イタリア、ポルトガルなどの主生産地では年間約60万トン、わが国は愛知、福岡、広島などで約1.3万トン²⁾、その内約24%が愛知産で占められている。その他では、米国のカリフォルニア州（サンディエゴ）なども産地である。先の地中海沿岸の地域は、緯度が38°N～32°Nに位置し、温帯（緯度23.5°N～66.5°N）の中では熱帯に接近した地帯で亜熱帯気候である。一年の中で平均気温が20℃以上の月が4～11カ月あり、そのほかの8～1ヶ月は20℃以下の温暖な気候である。夏は、降水量が少なく、日照時間が長いので、果実の栽培に適している。アテネにおける果実の栽培は、5000年以前の頃からであり、旧約聖書の創世記にも記されている。この地域には野生種のカブリ種が自生しているが、栽培品種はスミルナ種である。さらに、サンディエゴには1759年にスペインの宣教師によってスミルナ種がもたらされた。国内では、1909年（明治42年）に榊井光次郎（広島県出身）が、サンディエゴより現在の主流の榊井ドーフィン種を輸入した。その外に、1624～1643年に長崎に渡来した蓬萊柿などがある。

2.2 果実の分類

イチジクは亜熱帯性の果樹で、クワ科イチジク属の落葉小喬木の植物である。果実は、植物学的には偽果の一種でイヌビワの類に見られる。花の種類、受粉の必要の有無により、表1のようにカブリ種、スミルナ種、サンペドロ種、普通種の4品種に分類される。図1は果実の断面模式図であるが、外側の花たくの部分とその内側にある小花で構成されている。図は、榊井ドーフィン種のものを示し小花数は2,000～2,800個ほどである。

2.3 果実の成熟

果実の成熟は、表2に示すように収穫前における果実の変化を成熟期、収穫後の変化を後熟期という。種類により成熟期の間に完熟するものと収穫後に追熟させて完熟にいたるものとがある。イチジクは前者であり、リンゴ、バナナなどは後者である。一般に樹上で完熟する果実は完熟期に収穫したものが最も品質がよい

図1 イチジク果実の断面模式図（長縄，1987）²⁾
Fig. 1 The internal view of a ripe fig²⁾.

表2 果実の成熟期と後熟期の区分（伊庭ら，1985）³⁾
Table 2 Features of the fig growth period³⁾.

熟 期		段階的区分
(A) 成熟期	未熟期 (immature)	樹上において食味がまだ充分でない段階、又は収穫後に完熟する種類では追熟処理によっても食味が充分に発達しない段階。
	適熟期 (mature)	樹上において可食状態に達した段階、又は収穫後に完熟する種類では追熟処理で水準以上の食味向上が期待できる成熟の段階。
	完熟期 (ripe)	果実が本来有すべき最高の食味に達した段階。樹上でこの段階に達する種類では適熟期の後半が完熟期にあたる。
	過熟期 (over-mature) (over-ripe)	樹上で食味の低下が顕著になった段階、又は収穫後の追熟処理により正常に完熟できない成熟の段階。
(B) 後熟期		収穫直後から果実の食味が低下して嗜好性が失われるまでの期間をいう。この期間中・食味が低下するだけのもの・追熟が必要なもの、に分けられる。

が、日持ちが低下することが多い。しかし、イチジクを完熟前に収穫すると硬度は漸次減少するものの着色の進行及び糖含量の増加は全く期待できず食味が充分でないまま劣化するので、適熟期まで樹上に置かれる。なお、後熟期とは、収穫直後から果実の食味が低下して嗜好性が失われるまでの期間である。

2.4 果実の成熟プロセス

2.4.1 着果の習性

国内で栽培されている品種の大部分は果実の重量が大きく、収穫量の多い榊井ドーフィン種である。この種は夏秋兼用種である。夏果は 前年生枝を切り返しせずに放任すると、越冬果がそのまま肥大成長し、6月頃に成熟する。収穫果数、収量とも少ない。そのうえ秋果の収量が極めて減少する。この方法は現在殆ど利用されていない。秋果は前年生枝の切り返し剪定を行い、基部の芽を萌芽させ新梢をつくる。果実の花芽は新梢のえき芽である。この方法が広く普及している。新梢の伸長は4月下旬頃始まり、8月中旬まで続く。花芽分化果は新梢の基部2～3節を除いて、上部の葉えきに順次果実が着き、下方の果実より順番に成熟する。

2.4.2 果実の成長曲線

イチジク果実は樹上で成熟の過程を経て、完熟に達するが、その成長度は、図2に示すような二重S字型曲線となる。果実は6月中旬～7月上旬と成熟直前の8月中旬に急激に成長する。7月中旬から成熟期までは緩やかな成長をする。

表1 イチジク果実の品種と特徴（長縄，1987）²⁾
Table 1 The fig varieties and characteristics²⁾.

種 類	特 徴
カブリ系	南西アジアの野生種で、花たく内に雄花と雌花が有る。栽培品種の祖先と見なされている。果実はブラストファーガの蜂の幼虫があり、雄花が多いため食用にはできない。
スミルナ系	小アジアのスミルナ地方で古くから栽培されている。花たくには雌花しかなく、カブリ種の受粉により結実する。蜂の成虫が花粉を運ぶ。食用は乾果であり、国内では栽培していない。
サンペドロ系	結実の習性はスミルナ種と普通種の間にあたる。夏果は単為結実する。秋果は受粉が必要。国内にはビオレードフィンやサンペドロホワイトなどの夏果専用種がある。
普通系	・榊井ドーフィン：国内の栽培品種の殆どを占めている。夏秋果兼用種で、受粉せずに、単為結実する。食用の果肉は花たく、小花（雌花）部分である。－6℃以下の低温で凍害を受ける ・蓬萊柿：国内、最古の品種で耐寒性がある。

図2 イチジク果実の成長曲線 (伊庭ら, 1985)³⁾, (株本, 1986)⁷⁾
Fig.2 The fig growth curve³⁾⁷⁾.

表3 イチジク果実の成長の3時期 (伊庭ら, 1985)³⁾
Table 3 The 3 stages of fig growth³⁾.

時 期	区 分	期 間	日数	細胞組織
第Ⅰ期	第1急速成長期	6月上旬 ～7月上旬	40	分裂と増殖 重量20g程度
第Ⅱ期	成長一時停止期	7月上旬 ～8月中旬	35	重量は殆ど増加しない
第Ⅲ期	第2急速成長期	8月下旬 (成熟直前)	10	容積の増大 重量100g以上

この成長速度の違いから、表3のように区分されている。各組織の細胞分裂の停止は皮層内部で早く、表皮で遅いが、第Ⅰ期の末には終了する。

2.4.3 果実の重量と糖度

果実の重量は第Ⅰ期の終り頃20g程度となり、その後殆ど増加しない。第Ⅲ期に入ると急増して100g以上に肥大する。表皮は赤茶色となり、柔らかくなる。食味としての糖含量については糖の大部分が還元糖である。糖度は、図3のように第Ⅰ期～第Ⅱ期の終りまでは2.0%から6.7%へと漸増するが、第Ⅲ期に入ると急増し、成熟期には11.5%に達する。非還元糖は成長初期には殆どみられず第Ⅲ期中期に僅かに増加し1.0%程度となる。その後ふたたび減少して成熟果には殆どみられない。澱粉含量は初期には0.3%程度と少ないが、その後直線的に増加して第Ⅱ期中期には3.8%と最高となり、その後減少し成熟期にはさらに減少する。点線で表わした遊離酸はリンゴ酸として換算したものである。

2.4.4 果実の形質変化

果実成長が第Ⅲ期に入ると成熟促進のためのホルモン剤の添加(エスレル処理という)を目の部分に行う。処理後に収穫適期になった時の果実形質(色調、果実重量、糖含量、果肉硬度)は、その収穫時期により図4のように変化する傾向を示す。表4はこの図より果実の生育に関わる気温の影響をまとめたものである。特に、9月中旬～10月上旬の降雨による日照不足の影響は果実品質を悪化させる。それは、着色の進行が著しく抑制され、糖含量の増加が抑制される。10月上旬の降雨は、果実腐敗を増大する。

2.4.5 果実の熟度と品質

イチジク果実は、樹上で完熟したものを収穫し、熟度の判定が表5のように未熟、やや未熟、適熟、完熟の4段階あって、各段

図3 イチジク果実の成長期の糖度等成分の消長 (伊庭ら, 1985)³⁾
Fig.3 The sugar content of fig during growing period³⁾.

図4 エスレル処理後の果実の形質変化 (伊庭ら, 1985)³⁾
Fig.4 The impact of fig after maturation actuator treatment³⁾.

表4 果実のエスレル(成熟促進剤)処理時期と気温の関係(伊庭ら, 1985)³⁾
Table 4 The relation between temperature and actuator treatment³⁾.

エスレル 処理時期	気温	着色度 (7～8分)	重量 (g)	糖量 (%)	硬度 (g)
8月中旬	21℃ 以上	処理後、 5～6日経過	130	13.0	80
9月中旬	20℃ 前後	処理後、 6～7日経過	115	13.5	110
10月上旬	19℃ 以下	処理後、 9～10日経過	100	15.0	135

注) *1.表皮の着色は、農水省果樹試験イチジク用カラーチャートによる
*2.果肉硬度は、φ 3 mmの円柱針で突き刺した時の最大応力

表5 イチジク果実の熟度と果実品質(伊庭ら, 1985)³⁾
Table 5 The fig maturation and quality levels²⁾.

果実 熟度	着色度 (分)	色調 (E値)	重量 (g)	硬度 (g)	糖 度 (%)	還元糖 (%)
未熟	2～3	49.2	91	268	11.7	10.5
やや未熟	4～5	44.7	110	155	12.8	11.9
適熟	7～8	38.7	128	114	13.5	12.6
完熟	9以上	36.0	136	61	14.2	13.1

注) 1. 色調: $E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2}$

2. 硬度: ϕ 3 mm の円柱針で突き刺した時の最大応力

階の概数値(表皮の着色度, 重量, 硬度, 糖度)がある。例えば完熟果の場合, 着色度は9以上, 色調のE値は(CIE1976の $L^*a^*b^*$ 表色系)で36, 重量136 g, 果肉硬度61 g, 糖度14.2%となっている。

3. 生産地の気候要素

3.1 生産地の調査

果実の産地として地中海沿岸の諸国, アメリカ, 日本の調査対象地14を挙げ, 整理した。次に, 気象庁統計室及び理科年表(東京天文台編)により気象資料を調査した。その内, 果実の成長に影響がある気候要素は(1)気温(2)相対湿度(3)日照時間(4)降水量の4項目とし, 表6に地域別の果実生産地区分と気候要素の有無を示した。なお, 資料で数値のあるものは○印, ないものは×印で記入した。これより要素(1)～(4)の全て揃っている5地域は, スペイン, イタリア, ギリシア, アメリカ, 日本であった。ポルトガルとトルコ・キプロスは湿度または日照時間が欠落しているが, その他の資料はグループの補完用として残した。

3.2 主要産地の気候要素の対比

アテネ, イズミール, サンディエゴ, 名古屋の一年間の気温, 湿度, 日照時間, 降水量の値が変化する状態を図5で表した。

表7は, 果実の露地栽培時期が6月～9月なので, この4ヶ月間の気候要素4項目をアテネ基準として対比したものである。気温は, 最高気温が24～26℃の範囲で, ほぼ同程度であるが, いずれの産地も共通して, この4ヶ月間は20℃以上となっている。湿

表6 果実の生産地区分と気候要素の有無(気象庁, 1996)⁴⁾
(東京天文台, 1994)⁵⁾

Table 6 The climate data of major fig producing areas⁴⁾⁵⁾.

国名	観測地名	緯度 N	気温	湿度	日照	降水
ポルトガル	*リスボン	38.78°	○	○	×	○
	ファロ	37.02	○	×	○	○
スペイン	マラガ	36.87	○	○	○	○
イタリア	*ナポリ	40.85	○	○	○	○
ギリシャ	*アテネ	37.97	○	○	○	○
トルコ	*イズミール	38.43	○	○	×	○
	カルナカ	34.88	○	×	○	○
アメリカ	*サンディエゴ	32.73	○	○	○	○
日本	*名古屋	35.17	○	○	○	○

注) 気候要素資料の出典

1. *印は, 理科年表: 東京天文台編1994(丸善)

その他は気象庁統計資料: 1996.1～12のデータ

3. 気候要素欄: データ有○, 無し×の記号で示す。

図5 主産地の一年間の気候要素の変化

Fig. 5 The annual climate data of major fig producing areas.

表7 気候要素の対比 (アテネ基準)
Table 7 The climate data of Athens, San Diego and Nagoya.

(a) 気温(℃)	4ヶ月平均値 (6-9月)	差	年平均	差
アテネ(ギリシア) イズミール(トルコ)	25.4 25.8	基準 0	17.7 17.7	基準 0
サンディエゴ	21.3	+0.1	17.8	+0.1
名古屋	24.5	-2.7	15.0	-2.7
(b) 湿度(%)	4ヶ月平均値 (6-9月)	差	年平均	差
アテネ(ギリシア) イズミール(トルコ)	49.3 50.3	基準 +2.0	62.4 60.4	基準 -2.0
サンディエゴ	70.5	+21.2	66.5	+4.1
名古屋	75.3	+26.0	69.1	+6.7
(c) 日照時間(h)	4ヶ月平均値 (6-9月)	比率	年平均値	比率
アテネ(ギリシア) カルナカ(キプロス)	327 363	基準 111.0	230 278	基準 120.9
サンディエゴ	270	82.6	252	109.6
名古屋	160	48.9	168	73.0
(d) 降水量(mm)	4ヶ月平均値 (6-9月)	比率	年平均値	比率
アテネ(ギリシア) イズミール(トルコ)	8 6	基準 0.75	33 47	基準 1.4
サンディエゴ	3	0.38	21	0.6
名古屋	197	24.6	128	3.9

度は、7月にアテネが乾期で最低値の49％、名古屋が梅雨期のため最大値の75％であり、この時期の降水量はアテネの約2500％となる。日照時間は、アテネの半分以下と短く成熟期における表皮の着色促進に不利となっている。

4. 日射量の算定

4.1 直達日射量の計算

前項では、資料収集が可能であった気候要素即ち、気温、降水量や日照時間などについて、世界の主要産地の比較を試みたが、これら以外にイチジク果実の成熟に影響を与える気候要素として、各産地の日射量が考えられる。そこで、産地の緯度が既知であれば、昼間の時間数(昼間時数)が、さらに年間を通して快晴であると仮定すると直達日射量が計算により求められること、および産地の日照時間が資料として得られていることに着目して、各月の平均の日積算日射量を推定して、その産地間の比較対照を試みた。即ち、1997年の各日の太陽赤緯 δ を参照して、各産地の緯度 ϕ に応じて、日出(日没)時の時角 t を次式⁹⁾で算出した。

$$t = \pm \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

これを次式で時間数に変換して各日の昼間時数 T_d を求めた。

$$T_d = 2t/15$$

この各日の昼間時数を各月にわたって集計した月間の昼間時数 T_m に対する資料として得られた日照時間 T の比が、各月の日照率 R の推定値となる。一方、緯度 ϕ と太陽赤緯 δ と時角 t が既知であれば、その時の太陽高度 h は次式で与えられる。

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t$$

その時の快晴時の水平面での直達日射量 J_H は、ブーゲの式⁶⁾として次式で得られる。

$$J_H = J_0 \cdot P^{\cos h} \cdot \sin h$$

ここに、 J_0 ：太陽定数(1360W・m⁻²とした)

P ：大気透過率(0.7とした)

この日射照度を一日にわたって積算した日積算日射量の各月の平均値を求めると、常時快晴であるとした場合の日積算日射量の月平均値が推定できる。このようにして得たのが表8である。

表中は、(a)アテネ、サンディエゴの4月～10月、(b)名古屋の一年間における日積算日射量の月平均値の推定過程と結果を示したものである。これらの推定結果に基づいて地域別の日射量を比較検討したものが表9である。これより、4ヶ月間の日積算値の合計は、アテネ69.9、サンディエゴ61.0、名古屋35.2であり、イチジクの成長期における名古屋の日射量が、アテネとサンディエゴに比べて著しく少ないことがわかる。アテネと名古屋を比較すると、成長期の第Ⅰ期の6月、7月における日射量の差異は非常に大きく、名古屋ではアテネの半分以下の値となっており、第Ⅱ期の8月、第Ⅲ期の9月においては50％を超えるものの、60％以下である。ここでは、曇天時にも存在する全日射量を無視した推定を行ったが、それを加味したとしても名古屋の日射量は、アテネやサンディエゴに比べて非常に少ないことがわかった。

表8 地域別の日積算日射量(直達)の月平均値(推定値)

Table 8 A comparison of direct solar radiation energy of Athenes, San Diego, and Nagoya.

(a) アテネ(上段)・サンディエゴ(下段)

日射量〔単位：MJ・m ⁻² ・day ⁻¹ 〕					
期間 (月)	昼間時数 T_m (h)	日照時間 T (h)	日照率 $R = T/T_m$	日積算日射量の月平均値	
				常時快晴 ΣJ	日照率考慮 $\Sigma J' = R \cdot \Sigma J$
4	391	223	0.57	20.2	11.5
5	386	282	0.73	21.4	15.6
	436	307	0.70	23.9	16.7
6	425	246	0.58	24.4	14.2
	438	334	0.76	25.5	19.4
7	424	240	0.57	25.6	14.6
	459	343	0.75	25.6	19.2
8	446	305	0.69	25.8	17.8
	417	351	0.84	21.8	18.3
9	409	297	0.73	22.6	16.5
	368	280	0.76	17.1	13.0
10	367	239	0.65	18.6	12.1
	343	207	0.60	11.8	7.1
	348	233	0.67	13.8	9.3

(b) 名古屋

日射量〔単位：MJ・m ⁻² ・day ⁻¹ 〕					
期間 (月)	昼間時数 T_m (h)	日照時間 T (h)	日照率 $R = T/T_m$	日積算日射量の月平均値	
				常時快晴 ΣJ	日照率考慮 $\Sigma J' = R \cdot \Sigma J$
1	308	167	0.54	7.6	4.1
2	302	159	0.53	11.1	5.9
3	367	190	0.52	16.1	8.4
4	388	177	0.46	20.9	9.6
5	430	202	0.47	24.2	11.4
6	430	146	0.34	25.5	8.7
7	452	157	0.35	25.7	9.0
8	412	196	0.48	22.3	10.7
9	368	139	0.38	17.9	6.8
10	346	163	0.47	12.8	6.0
11	306	157	0.51	8.6	4.4
12	300	162	0.54	6.6	3.2

表9 6月～9月直達日射量の計算値の対比

Table 9 A comparison of direct solar radiation energy from June to September.

期間(月)	日射量〔単位: MJ・m ⁻² ・day ⁻¹ 〕				
	①アテネ	②サンディエゴ	③名古屋	不足分 ①-③	比率 ③/①
6	19.4	14.6	8.7	10.7	0.45
7	19.2	17.8	9.0	10.2	0.47
8	18.3	16.5	10.7	7.6	0.58
9	13.0	12.1	6.8	6.2	0.52
合 計	69.9	61.0	35.2	34.7	0.50
月平均	17.5	15.3	8.8	8.7	0.50

4.2 温室内の所要日射量の推定

まず、野外の日射量の算定は、気候資料が得られなかったので、快晴時の直達日射量と日照時間から各産地の気象に応じた直達日射量を計算し、比較した。その結果、表9に示したように、イチジクの成長期（6月～9月）の一日の積算日射量の月平均値が、アテネで17.5MJ・m⁻²・day⁻¹、名古屋で8.8MJ・m⁻²・day⁻¹であり、名古屋の日射量は、アテネの約50%と非常に少ない。しかし、名古屋が露地栽培の主産地であることを考慮して、この日射量を成長要件とすることが妥当であると考えた。上記の検討結果に基づき、1月～3月の期間に名古屋で温室栽培を行うことを前提として、表8(b)から、この期間の野外の日積算日射量の平均値6.1MJ・m⁻²・day⁻¹を算定した。ビニール被覆材は、2重張りされており、透過率を日立製分光光度計 UV-3400により測定した資料⁸⁾によると、図6のように、250～450nmの波長域で透過率が減少することが示されている。従ってこのビニール被覆材の透過率を全波長域を通じて60%と仮定して温室内の入射量を求めると3.7MJ・m⁻²・day⁻¹が得られた。これより果実が成熟し着色するためには、成長期の日射量8.8から温室内の入射量3.7の差5.1が不足量であり、これを数値指標とすることにした。実験の実施時期は、8月～9月であり、この期間の野外の日積算日射量の平均値8.8を、図7のようにビニール被覆（2重）の透過率60%で3.5、遮光用の寒冷紗の透過率70%を張ると1.6が損失し、実験の設定値3.7が得られる。この場合の総合透過率は40%になる。言い換えれば不足日射量を人工的に補う数値指標5.1が果実の成熟には不可欠であると考えられる。さらに、ビニール被覆（2重）による波長域の減少分が着色には大きく影響すると考えられるので、この

図6 ビニール被覆材の分光透過率の測定値（柳原，1990）⁸⁾
Fig. 6 The spectral transmittance of vinyl film⁸⁾.

温室内の所要月平均日射量の設定

図7 温室内の月平均日射量(不足分)の計算

Fig. 7 A supplemental light energy value estimated for direct solar radiation deficiency in a green house.

部分の補償も重要と考えられる。

5. 結言

イチジク果実は亜熱帯性植物で偽果の一種であり、原産地の気候に深く関わりがある。とりわけ成熟期の日射量は果実の形質、特に色素の生成に作用して、表皮の着色促進に影響していると推定される。名古屋において、年間日射量が低くなる1月～3月にビニール被覆温室内で栽培が試みられた結果でも表皮の着色促進が劣り、品質的な課題を生じていた。そのような理由から月平均日射量を算定し、原産地のアテネと対比した結果、

- ①収穫期の6月～9月の時期は、8.8MJ・m⁻²・day⁻¹で、8.7MJ・m⁻²・day⁻¹も低い値となった。
- ②1月～3月の野外の月平均日射量は6.1MJ・m⁻²・day⁻¹で、6月～9月の時期よりも更に、2.7MJ・m⁻²・day⁻¹の光量が減少している。
- ③ビニール被覆2重張り温室は、光透過率60%なので、減光量は2.4MJ・m⁻²・day⁻¹となり、投入日射量は、3.7MJ・m⁻²・day⁻¹と推定された。
- ④8月、9月を実験時期に設定したので、温室を1月～3月の状態にするため光透過率70%の寒冷紗を張るとさらに1.6MJ・m⁻²・day⁻¹の減光量となり、ビニール被覆2重張りの光透過率60%の減光量3.5MJ・m⁻²・day⁻¹より、不足光量は5.1MJ・m⁻²・day⁻¹となった。
- ⑤更に、ビニール被覆張りのため、290～470nm波長域の透過率が低くなった。この波長域が着色に影響を与えと考えられるので、ここの波長域を人工照明で補強することが必要である。以上のことより、表皮の着色促進に必要な光量5.1MJ・m⁻²・day⁻¹を人工照明で補強する指標に決定した。

終りにあたって、日射量の算定は、大阪大学工学部建築工学科の佐藤隆二助教授に、内容のディスカッションは、大阪工業大学工学部電気工学科の前田成欣教授にご指導を受けました。感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 新村 出：広辞苑，p.123, p.1081, 岩波書店（昭48）。
- (2) 長縄光延：やさしいイチジクづくり，pp.1-9, 52-53, 松尾

印刷所 (1987).

- (3) 伊庭, 福田, 垣内, 荒木: 果実の成熟と貯蔵, pp.7, 8-9, 53-56, 238, 養賢堂 (1985).
- (4) 気象庁統計資料室: 気象観測速報, 1996.1~12.
- (5) 東京天文台: 理科年表 (1994) 丸善 (平6).
- (6) 松浦邦男: 建築環境工学 I, pp.28-30, 36, 朝倉書店 (昭49).
- (7) 株本輝久: 兵庫県農業総合センタ「特別研究報告書」, pp.9-10 (1986-3).
- (8) 柳原 等: 中部電力研究資料, NO.85, pp.56-57 (1990-11).
- (9) 渡辺要編: 建築計画原論 I, p129, 丸善 (昭37).

(受付日1997年12月3日/採録日1998年5月7日)

かどなが てつ お
門永 鉄雄 (専門会員)

昭和13年3月17日生まれ。昭和31年3月米子工業高等学校卒業, 同年松下電工株式会社に入社。昭和41年3月大阪工業大学短期大学部電気科卒業。屋内照明技術のコンサルティング業務を経て, 光放射応用技術の開発, 人材育成センター講師などに従事。平成10年4月松下電工株式会社を定年退職。昭和55年技術士 (電気・電子部門), 昭和61年より大阪工業大学短期大学部非常勤講師 (電気工学・機械工学), 昭和62年より神戸大学工学部電気電子系非常勤講師 電力応用 (照明工学)

こうしか しんいち
向阪 信一 (専門会員)

松下電工株式会社 EC 総合企画部

昭和22年10月22日生まれ。昭和45年3月大阪市立大学工学部電気工学科卒業, 同年松下電工株式会社に入社。現在に至る。屋内照明設計技術の開発を経て, 植物育成・害虫防除への光放射応用の研究開発, UV 殺菌の研究開発などに従事。平成7年技術士 (電気・電子部門), 一般計量士 (平成5年), 植物工場学会会員, 日本技術士会会員。

やなぎはら ひとし
柳原 等 (正会員)

中部電力株式会社名古屋支店営業部

昭和20年7月10日生まれ。昭和39年愛媛県立松山工業高等学校卒業, 同年中部電力株式会社に入社。現在に至る。主に, 農業電化関係の研究業務, 施設園芸での電気加熱, 照明利用のほか電気応用技術研究開発を経て, 産業技術コンサルティング, 蓄熱空調普及開発業務に従事。