

フィコエリトリンを利用した簡易積算管型日射計の試作と 作物個体群内の日射透過量の測定

山本晴彦^{*1)}・本條均²⁾・鴨田副也³⁾・鈴木義久⁴⁾・早川誠而¹⁾

(¹⁾山口大学・²⁾宇都宮大学・³⁾社団法人日本施設園芸協会・⁴⁾日本カーバイド工業株式会社)

要旨：紅藻類の葉緑体から抽出したフィコビル色素蛋白質の一種であるフィコエリトリンを用いて、感光によるフィコエリトリンの透過率の変化から作物個体群内の透過日射量を簡易に測定する方法について検討した。フィコエリトリン色素溶液は、光合成有効放射域内の 550～560 nm 付近に感光波長帯の最大域が認められた。外径 22 mm、長さ 100 cm のアクリルパイプに幅 15 mm の受光窓を設け、これ以外は白色塗料で遮光処理を施し、フィコエリトリンを封入した。屋外での夏季と冬季の測定結果から、管型日射計により測定した積算日射量の実測値とフィコエリトリンの透過率の間には高い正の相関関係が認められたが、季節間で直線の傾きに大きな差異が生じた。人工光気象室で室内気温を 10℃ から 5℃ 間隔で 30℃ まで設定し、フィコエリトリンの温度依存性について検討した結果、フィコエリトリンの透過率と積算日射量の関係は各温度ごとに 2 次曲線で近似でき、フィコエリトリン色素溶液の透過率と測定時間帯の気温の平均値を説明変数に用いて積算日射量を推定できることが明らかになった。この関係式を用いて屋外における作物個体群内に透過された日射量の積算値を推定したところ、実測値と推定値はほぼ 1:1 のライン上に分布しており、両者の間には高い相関関係が認められることが明らかになった。

キーワード：イネ、簡易積算管型日射計、ダイズ、光透過量、フィコエリトリン。

作物生産において、生態学的な立場から物質生産を論ずる場合に、作物個体群の葉面積の繁茂程度や受光態勢などの個体群生産構造を検討する必要性が生じてくる(中世古 1985)。作物個体群内の光環境は、場所による変異が大きく、多点測定を必要とする。また、作物の物質生産を定量的に解析するには、光エネルギーの瞬時値ではなく積算値としての光エネルギー量を測定することが重要となる(堀江 1987)。

現在、光エネルギーを計測する機器としては、日射計、光量子センサー、照度計などが市販されているが、光環境を計測する機器は高価かつ取り扱いに注意を要する精密なものが多いため(朝倉 1988)、実際の農業生産現場への普及は遅れている。また、電源のない調査地点では使用できないなどの制約を受ける。しかし、作物生産の基礎的な気象要素である光環境の計測には、取り扱いが軽便な安価かつ安全な方法が実用的であるといえる。

このため、従来から各種の物質の光化学反応を利用した簡易な測定方法が提唱され利用されてきた。しかし、ジアゾ感光紙法(Friend 1961, 森谷 1968, 本條ら 1981, 安藤 1983, 飯盛ら 1983)とシュウ酸ウラニル法(Heinicke 1963, 三輪・木村 1981)は 400 nm 付近、アントラセン法(Dore 1958, 真部ら 1969, 二宮ら 1976, 本條ら 1981, Hagiwara ら 1982, 萩原ら 1985)は 350 nm 付近に感光波長帯の最大域があり、光合成反応に関与する光合成有効放射の波長域(400 nm～700 nm)とは感光波長帯が異なっている。

農林水産省果樹試験場と日本カーバイド工業株式会社は、1987 年に紅藻類の葉緑体から抽出液したフィコビル色素蛋白質の一種であるフィコエリトリンを用いて果樹

の樹冠内の積算日射量の簡易測定法を共同で開発した(鴨田・原沢 1986, 鴨田ら 1989)。この藻類抽出液は 560 nm 付近に感光波長帯の最大域があり、光合成反応においても有効な波長帯である。

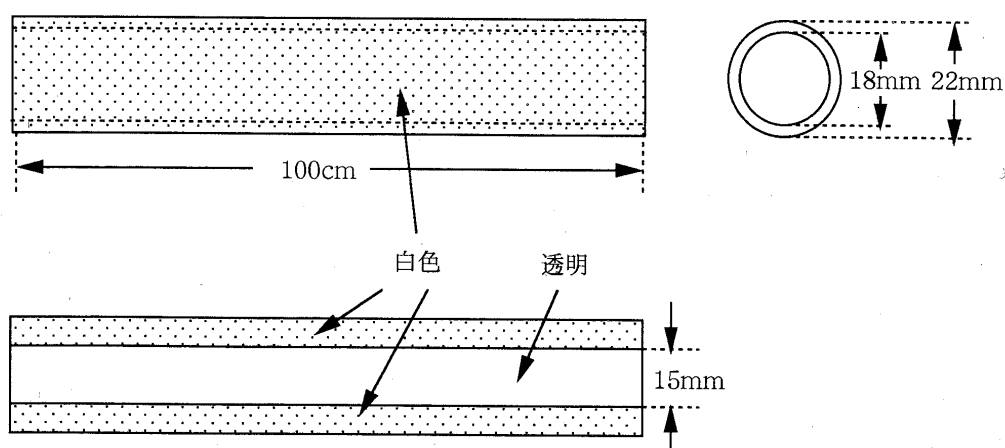
本研究では、このフィコエリトリン色素溶液を用い、温度補正を取り入れた作物個体群内の光透過量を簡易に測定する方法を開発した。

材料と方法

1. フィコエリトリンの精製法

フィコエリトリン(日本カーバイド工業株式会社製)は紅藻の葉緑体から抽出したフィコビル色素蛋白質の一種であり、蛍光性を有し濃紅色を呈する。この色素は感光すると退色する性質を持っていることから、その特性を利用して日射量を測定するものである。

フィコビル色素蛋白質に含まれるフィコエリトリンの分離・精製は以下の手順で行った。まず、使用する藻体を遠心洗浄した後、凍結と融解を 3 回繰り返して細胞を破壊し、遠心分離により粗抽出液を得る。粗抽出液は、15%飽和の硫酸にしてクロロフィルを含む微小な膜片を沈殿させて遠心分離して取り除き、ついで 35%飽和にしてフィコエリトリンを沈殿させて分画する。さらに、ハイドロキシアパタイトを用いてカラム(口径:長さ=1:3)に吸着させて、0.2 M NaCl 存在下でリン酸緩衝液の濃度を 0.001 M から順次 0.1 M まで上げて展開する。0.025 M で溶出したフィコエリトリンを硫酸沈殿により濃縮した後、再度カラムにかけて精製する(藤田 1979, 1980)。



第1図 試作した簡易積算管型日射計.

2. フィコエリトリンの波長別透過率の測定

フィコエリトリン精製原液を純水で20倍, 50倍, 100倍, 200倍に希釈した色素溶液(濃度: 5 mL L^{-1} , 10 mL L^{-1} , 20 mL L^{-1} , 50 mL L^{-1})を作成し, 分光光度計(島津製作所製, UV-240)を用いて $200 \text{ nm} \sim 900 \text{ nm}$ の透過率を測定し, 各濃度のフィコエリトリン色素溶液の波長別透過率の特性を検討した.

3. 簡易積算管型日射計の試作および検定方法

屋外および室内試験は, 農林水産省九州農業試験場(福岡県筑後市和泉)において行った. まず, 外径 22 mm , 内径 18 mm , 長さ 100 cm のアクリルパイプ(サンプラテック製, 7190BJ)の表面に幅 15 mm , 長さ 100 cm の受光窓を設け, それ以外の部分を黒色塗料(アサヒペイント製, 2030)で1重塗装した後, 白色塗料(アサヒペイント製, 2033)で2重塗装を行い, アクリルパイプ内部への入射光を遮った(第1図).

アクリルパイプの片側をゴム栓(4号)で蓋をした後, フィコエリトリン色素溶液(濃度: 20 mL L^{-1} , 50 mL L^{-1})を注入し, さらにパイプの片側をゴム栓で蓋をして封入した. パイプの受光窓を上向きにして, 気象観測露場



第2図 簡易積算管型日射計を用いたイネ個体群の透過量の測定.

内の芝生の高さ 10 cm の位置にパイプが水平になるように化学実験用クランプで両端を固定した. 試作した同日射計は, 日の出から日の入りの間の一定の時間帯にわたり感光させた後, 簡易積算管型日射計からフィコエリトリン溶液をフラスコに移して暗所に保管した. その後, 分光光度計を用いてフィコエリトリン溶液の 555 nm および 560 nm における透過率を測定した.

検量線を作成するため, 同時に, 基準となる管型日射計(Delta 製)を試作した簡易積算管型日射計に近接して設置し, データロガー(英弘精機製, SOLACIII)に入力して積算日射量を測定した. 試作した簡易積算管型日射計の検定は, 夏季(1989年7月19日, 21日, 23日)および冬季(1989年12月19日, 20日)に行った.

4. フィコエリトリン色素溶液の温度反応特性

フィコエリトリン色素溶液の温度に対する反応特性を評価するため, 温度と光量の制御が可能な人工光気象室(小糸工業製, コイトロン KG206HL-D)を使用して実験を行った. 室内には, BOC ランプ(拡散形メタルハライドランプ, 三菱電機製, MLBOC400F-U, 400 W)が20灯, 蛍光灯(白色, 三菱電機製, FLR40SW/M, 40 W)が16灯取り付けられており, 太陽スペクトルに近い光質である(山本 1989). 室内の床部における日射量は, 1時間当たり 1.62 MJ m^{-2} である.

室内温度を 10°C , 15°C , 20°C , 25°C および 30°C の5段階の温度に設定し, 一定時間にわたってフィコエリトリン色素溶液(濃度: 20 mL L^{-1})の入った簡易積算管型日射計を室内中央の床部に置いて, フィコエリトリンの温度反応特性を検討した. 同時に, 隣接して管型日射計を設置して積算日射量を測定した.

5. 作物個体群内の積算日射量の測定

供試作物には, イネ(品種: ニシホマレ)およびダイズ(品種: フクユタカ)を用いた. イネは, 1990年5月20日に播種し, 水苗代で育苗した. 6月21日に水田圃場に1株3本植えて, 条間 30 cm , 株間 15 cm で手植えた.

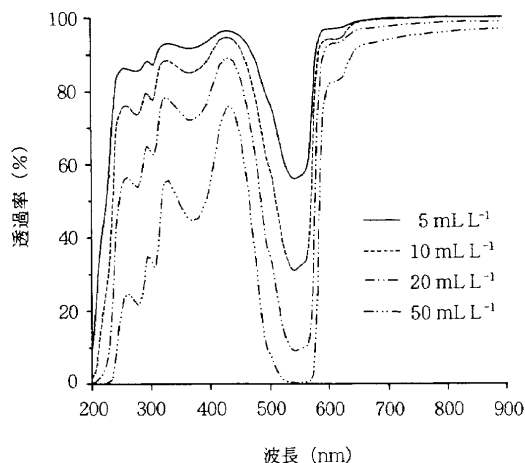
ダイズは、1990年7月10日に、条間70 cm、株間20 cmで播種した。栽培管理は、両作物とも慣行法により行った。

イネおよびダイズ個体群内の光透過量の測定は、7月13日から8月25日にかけて行った。フィコエリトリン色素溶液（濃度： 20 mL L^{-1} ）の入った簡易積算管型日射計をイネ個体群田面およびダイズ個体群畑面の高さ10 cmの位置にパイプが水平になるようにクランプで両端を固定し、日の出から日の入りの間の一定の時間帯にわたり感光させた（第2図）。その後、感光させた溶液を回収して暗所に保管した後、分光光度計を用いてフィコエリトリン溶液の555 nmにおける透過率を測定した。同時に、管型日射計を試作した簡易積算管型日射計に近接して設置し、データロガーに入力して積算日射量を測定した。

結 果

1. フィコエリトリンの波長別透過特性

フィコエリトリン色素溶液の波長別透過特性を濃度別に



第3図 フィコエリトリン色素溶液（濃度： 5 mL L^{-1} , 10 mL L^{-1} , 20 mL L^{-1} , 50 mL L^{-1} ）の透過特性。

第3図に示した。250 nm～560 nmの波長域では、溶液濃度間に大きな透過率の差異が認められているが、700 nm～900 nmにかけての近赤外域ではすべての濃度で透過率が高く、溶液濃度間には透過率の差異が小さかった。とくに、550 nm～560 nm付近では溶液濃度間で明瞭な差異が生じていることが明らかになった。

そこで、フィコエリトリン色素溶液の550 nm、555 nmおよび560 nmにおける溶液濃度と透過率との関係を示したものが第4図である。すべての波長において、溶液濃度と透過率の間には高い負の相関関係が認められているが、低濃度、たとえば 5 mL L^{-1} では透過率が55%以上であることから感光時には透過率が高まるため、積算日射量の推定が不可能になると考えられる。以上の測定結果から、フィコエリトリン色素溶液の使用濃度は20～50 mL L^{-1} が最適であると考えられた。

2. 簡易積算管型日射計の検定結果

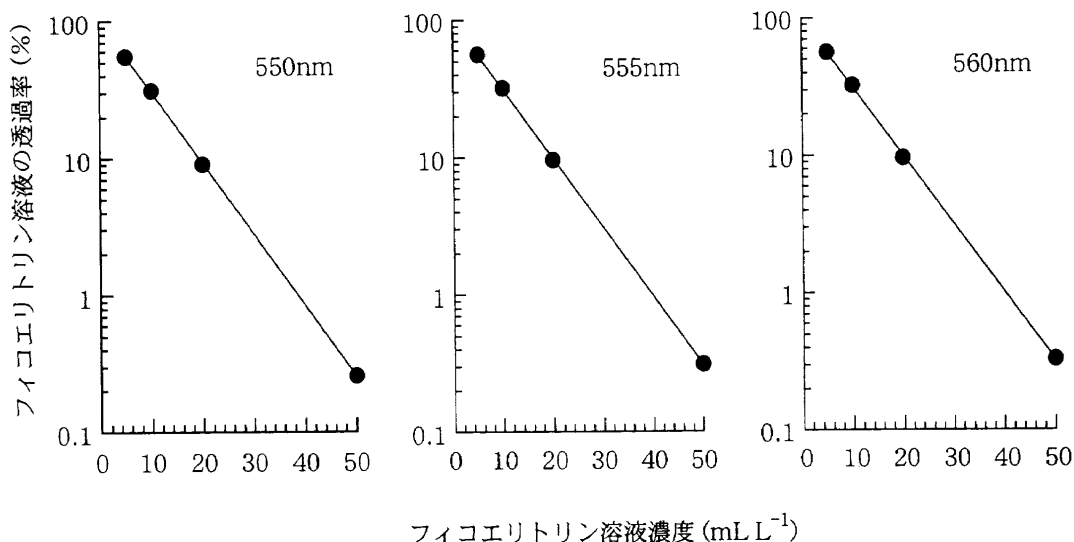
イネおよびダイズ個体群を対象に、夏季（7月中下旬）と冬季（12月下旬）において簡易積算管型日射計のフィコエリトリン色素溶液（濃度： 20 mL L^{-1} ）の555 nmにおける透過率と管型日射計により測定した積算日射量の実測値との関係を第5図に示した。555 nmにおけるフィコエリトリン色素溶液の透過率と積算日射量の実測値との間には正の高い相関関係（夏季： $r=0.985$ 、冬季： $r=0.973$ ）が認められており、式(1)および式(2)で示されることが明らかになった。

$$\text{夏季: } Y = -18.88 + 19.86 \log X \quad (1) \quad (r=0.985^{***})$$

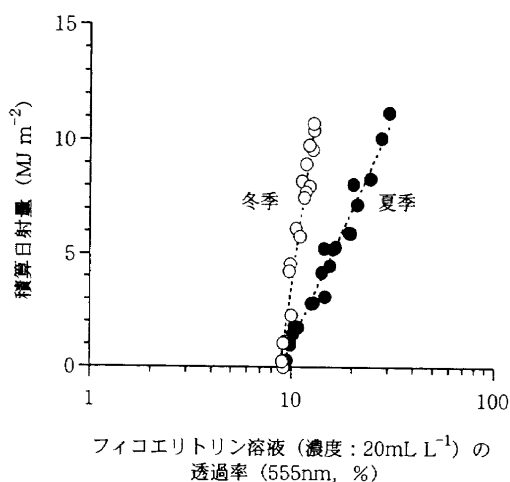
$$\text{冬季: } Y = -60.48 + 63.99 \log X \quad (2) \quad (r=0.973^{***})$$

ここで、Xはフィコエリトリン色素溶液（濃度 20 mL L^{-1} ）の透過率(555 nm, %), Yは積算日射量(MJ m^{-2})である。

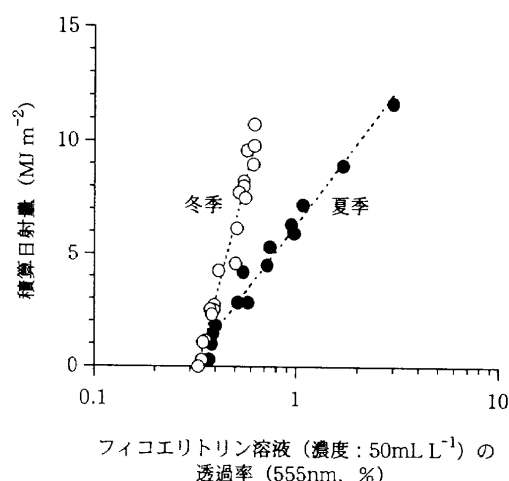
さらに、フィコエリトリン色素溶液（濃度： 50 mL L^{-1} ）



第4図 フィコエリトリン色素溶液の550 nm、555 nmおよび560 nmにおける溶液濃度と溶液透過率との関係。



第5図 簡易積算管型日射計のフィコエリトリン色素溶液(濃度: 20 mL L⁻¹)の555 nmにおける透過率と管型日射計により測定した積算日射量の実測値との関係。



第6図 簡易積算管型日射計のフィコエリトリン色素溶液(濃度: 50 mL L⁻¹)の555 nmにおける透過率と管型日射計により測定した積算日射量の実測値との関係。

の555 nmにおける透過率と管型日射計により測定した積算日射量の実測値との関係を第6図に示した。濃度 50 mL L⁻¹の場合も、20 mL L⁻¹と同様に正の高い相関関係(夏季: $r=0.988$, 冬季: $r=0.982$)が認められ、式(3)および式(4)で示されることが明らかになった。

$$\text{夏季: } Y = -6.31 + 12.03 \log X \quad (3) \quad (r=0.988^{***})$$

$$\text{冬季: } Y = -17.08 + 35.44 \log X \quad (4) \quad (r=0.982^{***})$$

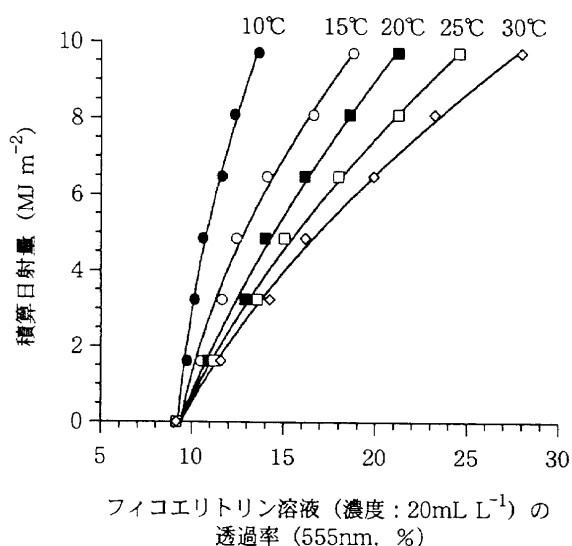
ここで、 X はフィコエリトリン色素溶液(濃度 50 mL L⁻¹)の透過率(555 nm, %), Y は積算日射量(MJ m⁻²)である。

ここで、第5図および第6図から明らかなように、夏季と冬季では回帰式の傾きに大きな差異が認められた。このことは、フィコエリトリン色素溶液の透過率の変化が、日射量以外の気象要因、すなわち温度環境にも影響を受けることを示唆している。

3. フィコエリトリン色素溶液の温度反応特性

上述したように、温度環境によりフィコエリトリン色素溶液の透過率の変化が起こるものと推察された。そこで、人工光気象室において10°C、15°C、20°C、25°Cおよび30°Cの5段階に設定した室温条件下で、フィコエリトリン色素溶液(濃度: 20 mL L⁻¹)の温度反応特性を調べた結果を第7図に示した。

フィコエリトリン色素溶液と積算日射量の間をみると、各温度ごとに2次曲線で近似でき、室温が高くなるに伴ってフィコエリトリン色素溶液の透過率が上昇する傾向が認められている。さらに、この傾向は低温域から高温域ではほぼ均一であることがわかる。以上のことから、今回試作した簡易積算管型日射計を用いて積算日射量を推定するには、式(5)に示したようにフィコエリトリン色素溶液の透過率と測定時間帯の気温の平均値を説明変数に用いて積算日射量を推定できることが明らかになった。



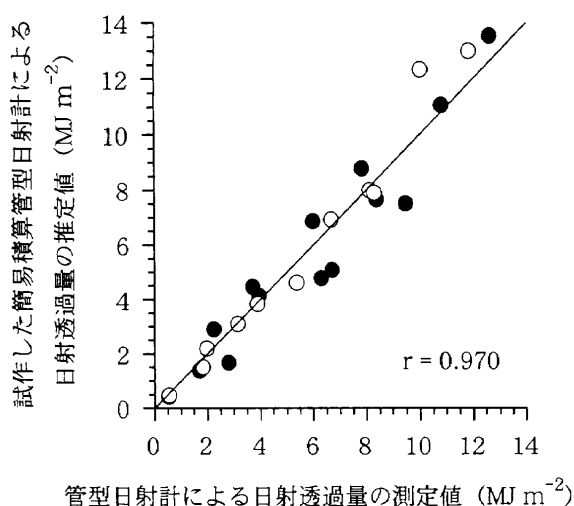
第7図 人工光気象室において10°C、15°C、20°C、25°Cおよび30°Cの5段階に設定した室温条件下におけるフィコエリトリン色素溶液の温度反応特性。

$$Y = -0.217 \times X_1 + 0.690 \times X_2 - 0.836 \quad (5) \quad (r=0.916^{***})$$

ここで、 X_1 は測定時間帯の気温の平均値(°C), X_2 はフィコエリトリン色素溶液(濃度 20 mL L⁻¹)の透過率(555 nm, %), Y は積算日射量(MJ m⁻²)である。

4. 作物個体群内の積算日射透過量の測定

イネおよびダイズ個体群において、管型日射計により測定した積算透過日射量の実測値と簡易積算管型日射計のフィコエリトリン色素溶液の555 nmにおける透過率と測定時の気温から求めた推定値との関係を第8図に示した。なお、試作した簡易積算管型日射計は、第2図からわかるように、イネ個体群内において3~4条にわたって透過率を測定できることから、作物個体群内の不均一な光環境を測定するのに有効な簡易日射計であるといえる。積算日射量の実測値と推定値はほぼ1:1のラインに分布上しており、相関係数は0.970であった。このことから、フィコエリト



第8図 管型日射計により測定した積算日射量の実測値と簡易積算管型日射計のフィコエリトリン色素溶液の555 nmにおける透過率と測定時の気温から求めた推定値との関係。
●: 水稲個体群, ○: ダイズ個体群。

リン色素溶液を用いて試作した簡易積算管型日射計は、作物個体群内に透過された日射量の積算値を高い精度で推定できることが明らかになった。

考 察

簡易な測定方法により植物個体群の内部における光環境を把握するには、従来から各種の物質の光化学反応を利用した手法が提唱されてきた。Friend (1961), 森谷 (1968), 本條ら (1981), 安藤 (1983), 飯盛ら (1983) はジアゾ感光紙を用いて, Heinicke (1963), 三輪・木村 (1981) はシュウ酸ウラニルを用いて植物個体群内の光環境を簡易に計測できることを報告している。さらに, Dore (1958), 真部ら (1969), 二宮ら (1976), 本條ら (1981), Hagiwara ら (1982), 萩原ら (1985) はアントラセンを用いて植物個体群内の光環境を簡易に計測できることを明らかにしている。しかし, ジアゾ感光紙法とシュウ酸ウラニル法は 400 nm 付近, アントラセン法は 350 nm 付近に感光波長帯の最大域があることから, 植物の光合成反応に関与する光合成有効放射域である 400 nm~700 nm までの波長域とは感光波長帯が異なっている。植物個体群の物質生産と光環境を解析するには, 光合成有効放射域に感光域を有する光化学反応物質を用いる必要があると考えられる。

ジアゾ感光紙法は最も簡便な方法であり感光後の処理も特別な器材を必要としないが, 感光した紙片の枚数が少ないと測定精度の低下が避けられなく, さらに感光した紙片と未感光との境界が必ずしも明瞭でなく紙質の均一性なども精度上問題となる (Friend 1961, 森谷 1968, 本條ら 1981, 安藤 1983, 飯盛ら 1983)。シュウ酸ウラニル法は, 規格の揃った特別な容器が必要であり, さらに試薬を用いた滴定法により求めるため, 比較的時間を要することなどが指摘されている (Heinicke 1963, 三輪・木村 1981)。さ

らに, アントラセン法はベンゼン溶液を用いるため, 使用したガラス器具類の洗浄に手間がかかり, またベンゼンがゴムやパッキン類などを侵すために処理中のトラブルも発生しやすいなどの欠点がある (Dore 1958, 真部ら 1969, 二宮ら 1976, 本條ら 1981, Hagiwara ら 1982, 萩原ら 1985)。

鴨田・原沢 (1986), 鴨田ら (1989) が用いた藻類抽出液のフィコエリトリンは 560 nm 付近に感光波長帯の最大域があり, 光合成反応においても有効な波長帯であると報告している。本実験の結果からも, 第3図に示したように光合成有効放射域に感光波長帯が認められた。また, 純水を用いて溶液を希釈しており, 取り扱いも安全かつ簡便であるといえる。

しかし, 第5図および第6図に示したように夏季と冬季に行った野外実験から, フィコエリトリンの感光反応には温度依存性があることが示唆された。さらに, 室内実験から式(5)に示したようにフィコエリトリン色素溶液の透過率と測定時間帯の気温の平均値を説明変数に用いて積算日射量を推定できることが明らかになった。この関係式を用いて作物個体群の透過日射量を推定したところ, 第8図に示したように実測値と推定値の間には高い相関関係が認められた。

実験を行った九州農業試験場で 1986 年から 1990 年までの5年間を対象に, イネおよびダイズの栽培期間内の積算日射量の日量を調べた結果, 日最大値は約 30 MJ m⁻² であり, 本実験で推定した積算日射量約 14 MJ m⁻² の約2倍に相当する。図には示していないが, 室温 30°C 下で積算日射量を約 28 MJ m⁻² まで照射した場合には, フィコエリトリン色素溶液の退色反応が早く進行し, 透過率と積算日射量の間の相関関係は低下しており, 強日射条件下では積算日射量の推定は困難となることが示唆された。今後は, 受光窓のスリットを狭くするなどの工夫を行い, フィコエリトリン色素溶液の退色速度を遅くすることにより, 強日射条件下での積算日射量の推定が可能かどうかについて検討する予定である。

福山ら (1982) は携帯用で可視域の感度をもつ日射計を試作し, 牧草の現存量の推定を試みている。また, 二口・石井 (1997) は管型日射計と小型センサーによりイネ個体群の葉面積指数を, 山本ら (1995) はプラントキャノピーアナライザーを用いてイネおよびダイズ個体群の葉面積指数を高い精度で推定できたと報告している。本実験の結果から, 試作した管型日射計がイネおよびダイズ個体群内に透過した日射量の積算値を高い精度で推定できることが明らかになったことから, 本日射計を用いて植物個体群の葉面積指数や現存乾物重の推定を試みる予定である。

謝辞: 農林水産省九州農業試験場耐性育種研究室からは人工光気象室を, 水田土壌管理研究室からは分光光度計を借用した。ここに, 厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 安藤貴 1983. ジアゾ感光紙による林内日射量の測定. 林試研報 323: 19-27.
- 朝倉利男 1988. 放射・日照の測定. 日本農業気象学会関東支部編, 農業気象の測器と測定法. 農業技術協会, 東京. 20-32.
- Dore, W.G. 1958. A simple chemical light-meter. Ecology 39: 151-152.
- Friend, D.T.C. 1961. A simple method of measuring integrated light values in the field. Ecology 42: 577-580.
- 藤田善彦 1979. フィコビリル. 西澤一俊・千原光雄編, 藻類研究法. 共立出版, 東京. 489-497.
- 藤田善彦 1980. フィコビリル. 林孝三代表著者, 植物色素. 養賢堂, 東京. 238-242.
- 福山正隆・嶋村匡俊・牛山正昭・及川棟雄 1982. 携帯用可視線日射計の試作と牧草現存量推定への応用. 草地試研報 21: 79-87.
- 二口浩一・石井龍一 1997. 管型日射計と小型センサーを用いたイネ個体群における葉面積指数の推定. 日作紀 66: 135-136.
- Hagiwara, A., I. Ninomiya and K. Hozumi 1982. Evaluation of the light climate in a Chamaecyparis obtusa plantation by a chemical light-meter. J. Jap. For. Soc. 64: 220-228.
- 萩原秋男・森茂太・穂積和夫 1985. アントラセンによる光測定法の検討. 96 回日林論 333-334.
- Heinicke, D.R. 1963. The micro-climate of fruit trees. 1. Light measurements with uranyl oxalate actinometers. Can. J. Plant Sci. 43: 561-568.
- 本條均・中川行夫・下大迫三徳 1981. 果樹の樹冠内日射量の簡易測定法. 果樹試報 A 8: 109-119.
- 堀江武 1987. 植物群落内の日射環境. 柴田和雄・内嶋善兵衛編, 太陽エネルギーの分布と測定. 学会出版センター, 東京. 103-125.
- 飯盛功・竹下慶子・上中作次郎 1983. ジアゾ感光紙による林内日射量の測定法の検討. 林試研報 323: 28-32.
- 鴨田福也・原沢勇 1986. Phycoerythrin 利用による積算日射量測定. 昭和 61 年度日本農業気象学会全国大会講演要旨 182-183.
- 鴨田福也・茂原泉・鈴木義久・伊神光夫 1989. 日本農業気象学会 1989 年度大会・日本生物環境調節学会第 27 回集会合同大会講演要旨 250-251.
- 真部辰夫・荒木武夫・浅沼晟吾 1969. アントラセンによる日射量の測定. 日林誌 51: 164-167.
- 三輪智・木村進 1981. シュウ酸ウラニル法による栽培施設内の日射量測定に関する研究. 静岡農試研報 17: 84-89.
- 森谷睦夫 1968. ジアゾ感光紙による作物群落内照度の測定. 農及園 43: 1290-1294.
- 中世古公男 1985. 植物生産力の測定. 北條良夫・石塚潤爾編, 最新作物生理実験法. 農業技術協会, 東京. 232-254.
- 二宮生夫・萩原秋男・穂積和夫 1976. アントラセン法による相対照度の測定. 24 回日林中支講 229-238.
- 山本晴彦 1989. 人工気象室内における作物の気象生態反応に関する研究. 1. 人工気象室内の微気象環境特性並びに環境条件がカボチャの葉温及び光合成に及ぼす影響. 九州農試報告 25: 271-289.
- 山本晴彦・鈴木義則・早川誠而 1995. プラントキャノピーアナライザーを用いた作物個体群の葉面積指数の推定. 日作紀 64: 333-335.

Trial Manufacture of Simple Integrated Tube-Type Pyranometer by Phycoerythrin and Measurements of Transmittance of Solar Radiation in Crop Canopies: Haruhiko YAMAMOTO^{*1)}, Hitoshi HONJO²⁾, Fukuya KAMOTA³⁾, Yoshihisa SUZUKI⁴⁾ and Seiji HAYAKAWA (¹⁾Yamaguchi Univ., Yamaguchi 753-8515, Japan; ²⁾Utsunomiya Univ.; ³⁾Japan Greenhouse Horticulture Association; ⁴⁾Nippon Carbide Industries Co., Inc.)

Abstract: We tried to construct a simple integrated tube-type pyranometer using phycoerythrin from seaweed pigment. The maximum sensitive waveband of phycoerythrin was 550 nm~560 nm, and this waveband was in the photosynthetically active radiation range. The acrylic tubes (outside diameter, 22 mm. length, 100 cm) were spread with white paints except for a strip 15 mm in width, and phycoerythrin was put into the acrylic tube. In the results from the outdoor measurements, the tube-type pyranometer showed a positive correlation between the transmittance of phycoerythrin (%) and the measured accumulated solar radiation (MJ m^{-2}), but the slope of the linear equation was different in summer and winter. In an artificial climate room, the relationship between the transmittance of phycoerythrin and the accumulated solar radiation could be approximated by a quadratic equation at every temperature. In the measurements made outdoors, the accumulated solar radiation could be estimated using the transmittance of phycoerythrin and the mean air temperature during measurements.

Key words: Phycoerythrin, Rice, Simple integrated tube-type pyranometer, Soybean, Transmittance solar radiation.