

アントラセンによる温室内光量測定法

誌名	静岡県農業試験場研究報告 = Bulletin of Shizuoka Agricultural Experiment Station
ISSN	0583094X
著者	佐藤, 展之 木村, 進
巻/号	32号
掲載ページ	p. 87-92
発行年月	1987年12月

アントラセンによる温室内光量測定法

佐藤展之*・木村 進*

I 緒 言

温室内で一定量の受光量を確保することは、光合成量を確保し、作物生産の増加や品質向上にもつながる。従って、施設栽培の基礎的条件として、ガラス温室や、プラスチックハウス内の光環境を把握することは重要である。

古在ら^{3,4,5)}はモデル温室の受光状態や光分布など(光環境)を、コンピューターによるシミュレーションによって求める方法及びその結果を報告した。この方法により、温室内の光環境をある程度認識できるが、実際に温室内で作物が生育している場合や、個々の温室の光環境を確認したい場合は、作物の種類や生育条件、温室の立地条件、建設年月などすべて異なるために、実測に頼らざるを得ない。

日射量の実測方法は、日射計を用いて測定する物理的方法と、光化学反応を利用した化学的方法の二つに分けられる⁷⁾。

物理的方法による測定は、データをリアルタイムで読み取ることができ、かつ精度も高いが機器が高価な上に測定機器自体も大きく、一温室内での多点測定は労力と経費を多く要するため、実際に行うには困難を伴うことが多い。

化学的方法は、古くから研究されておりアントラセン光量計、シュウ酸ウラニル光量計、レイネッケ塩光量計など、各種の化合物を用いた方法がある⁷⁾。化学的方法は一般的に精度はやや落ち、瞬時値の測定ができないという欠点はあるが、測定方法は簡単に温室内の積算日射量の多点測定には適している。

三輪ら⁶⁾は、シュウ酸ウラニル法による栽培施設内の日射量測定法を報告しているが、現在は硫酸ウラニルの入手が困難で、一般的な使用は期待できない。

HAGIWARA¹⁾らは、エチルアルコール中で、2分子のア

ントラセン($C_{14}H_{10}$)が光エネルギーにより結合して有機溶媒に不溶性のジアントラセン($(C_{14}H_{10})_2$)となる反応を利用した積算日射量測定方法を報告した。溶液の吸光度を分光光度計で測定することにより積算日射量を測定するアントラセン-エチルアルコール法(以下アントラセン法とする)は、スクリュウ管を測定点数だけ用意すれば、あとはエチルアルコール、アントラセンなど若干の安価な試薬と、分光光度計、回帰直線作成用の積算日射計だけで簡便に積算日射量の同時多点測定を行うことができ、すぐれた測定方法と考えられる。

本試験では、特にメロン温室に用いられているガラスとアクリル複層板の被覆資材下で、アントラセン法により積算日射量を求める方法について実験を行ったので報告する。

II 材料および方法

1. 材 料

1級エチルアルコールにアントラセンを30 ppmの濃度になるように溶解し、日射量測定用溶液とした。アントラセンエチルアルコール溶液(以下アントラセン溶液とする)を入れるスクリュウ管(商品名 ラボランパック:イウチ社製)は、20 mlの容量を持ち、ガラスの厚みは、1 mmである。蓋の部分に針金をつけ、測定用の支柱や、温室内に吊すことができるようにした。アントラセン溶液は、スクリュウ管に10 mlずつ入れ測定に用いた(Fig. 1)。

被覆資材は、厚さ3 mm・大きさ1.6×0.7 mmの透明ガラス板(商品名フロートガラス:旭硝子製)と、厚さ16 mm(アクリル板1枚の厚さ1.5 mmで空気層の厚さ13 mm)・大きさ1.8×1.0 mのアクリル複層板(商品名ダイセルダブルシート MD-1600:ダイセル化学工業製)を使用した。アクリル複層板は、32 mm間隔でリブ(仕切り)のついたものである。

*施設部

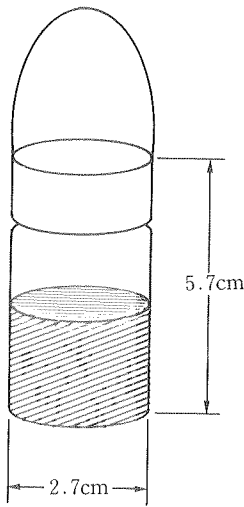


Fig. 1. The exposure vial used in the experiment. Each vial was filled with 10ml anthracene-ethyl alcohol solution.

2. 測定方法

(1) アントラセンの吸光特性

アントラセン溶液の吸収波長域、反応波長域を確認するために、未露光のアントラセン溶液で、波長 280 nm から 800 nm の吸光特性を、HITACHI-U 3200 分光光度計で自動測定した。

(2) アントラセンの濃度と吸光度の関係

アントラセン濃度 0 ~ 70 ppm の範囲で、350 nm における吸光度の変化を、HITACHI 100-10 分光光度計で測定した。

(3) 露光によるアントラセン溶液の吸光度の変化

戸外、被覆資材下で露光させた後アントラセン溶液は、HITACHI 100-10 分光光度計で、350 nm における吸光度 (Absorbance) を測定した。

(4) ガラス板・アクリル被層板・スクリー管の光線透過特性

ガラス板・アクリル複層板・スクリー管の透過特性を、200 nm から 800 nm の波長域で、HITACHI-U 3200 分光光度計を用いて自動測定した。

(5) 異なる被覆資材下でのアントラセン溶液の感応性

アントラセン溶液の資材透過光に対する反応の変化を求めるのに、実際の温室内では骨材の影の影響がでて正確に求めることができないので、下記のように模擬的に設置した被覆資材下で行った。

ガラスの1枚板 (1.6×0.7 m) とアクリル複層板 (1.8 m×1.0 m) を、南面に向け 30度の傾きをもたせ戸外へ

設置した。資材の 10 cm 下にアントラセン溶液を入れたスクリー管を吊し、側面からの光と反射光の影響を抑えるために板の側面と下面を暗幕で覆い、被覆資材を透過した光で露光させたアントラセン溶液の吸光度の変化を見た。

同時に戸外と各被覆資材下に農試電試式日射計を設置し積算日射量を求め、アントラセンの光化学反応との相関を求めた。

III 結 果

1. アントラセン溶液の吸光特性について

30 ppm のアントラセン溶液の吸光特性を Fig. 2 に示した。アントラセンは紫外線波長域での吸光度が高く、376 nm, 356 nm, 339 nm, 324 nm, 239 nm の各波長にピークを持っていた。この吸光特性より 300 nm から 400 nm の波長域の光 (紫外線) に対して、アントラセン溶液は光化学反応を行うと思われる。以下露光したアントラセン溶液の吸光度は、ピークに近い波長の 350 nm で測定した。

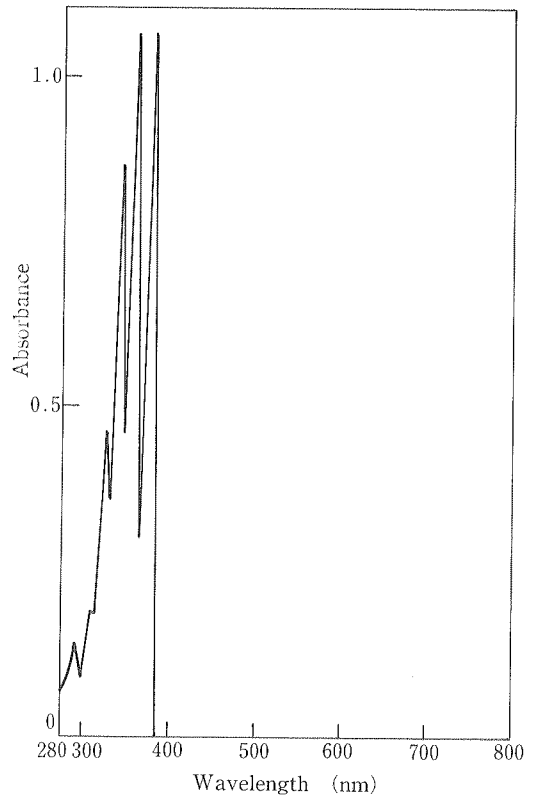


Fig. 2. Absorption spectrum of anthracene-ethyl alcohol solution.

2. アントラセンの濃度と吸光度

エチルアルコール中のアントラセン濃度と、分光光度計で測定した吸光度との関係は、Lambert-Beerの法則に基づき Fig. 3 のように直線となった。

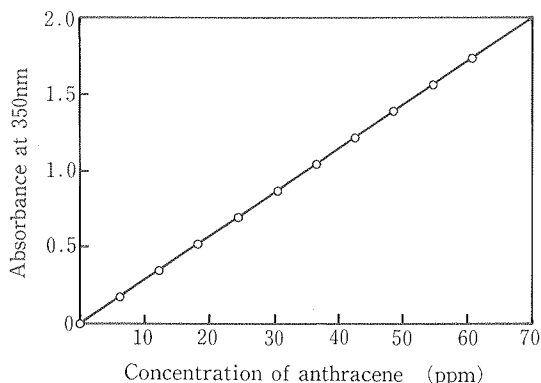


Fig. 3. Linear regression of the absorbance to the concentration of anthracene-ethyl alcohol solution.

この関係は、下記の式で表わすことができる。

$$D = K \cdot C \quad \dots\dots(1)$$

D: アントラセン溶液の吸光度

C: エチルアルコール中のアントラセン濃度

K: 定数

3. 露光によるアントラセン溶液の吸光度の変化

アントラセン溶液を太陽光線下に置いて、種々の時間露光させた後の吸光度の対数値と、同時間内の積算日射量との関係を Fig. 4 に示した。受光量が多くなるほどアントラセンがジアントラセンに変化し沈殿するために、溶液の吸光度は小さくなる。

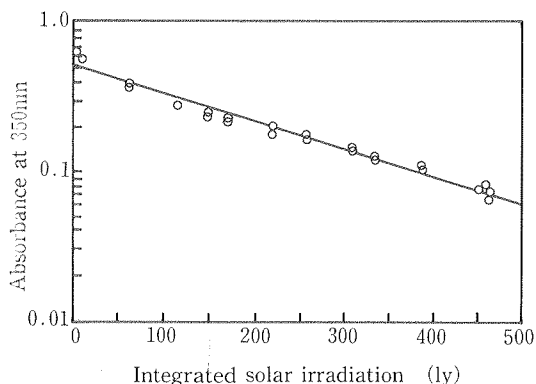


Fig. 4. Correlation between absorbance of anthracene-ethyl alcohol solution and integrated solar irradiation.

この関係は次式で表すことができ、相関係数は -0.973 と高い値であった。

$$\log_{10} D = A \cdot I + B \quad \dots\dots(2)$$

D: 露光したアントラセン溶液の吸光度

I: アントラセン溶液に露光した積算日射量

A, B: 定数

この回帰直線は、0.1%水準で有意であった。

4. 資材の透過特性について

ガラス板、アクリル複層板、スクリー管の光線透過特性を分光光度計で測定した結果を Fig. 5 に示した。可視光線域の光線透過率は、ガラス板が約90%、アクリル複層板のリップのない部分が約80%、スクリー管は約92%の透過率であった。アントラセン感応波長の紫外線波長域の透過特性を見ると、ガラス板が300 nm以下で全く光を透過しなくなるのに対して、スクリー管は280 nm、アクリル複層板は255 nmまでの波長を通した。このことは、スクリー管内にいれたアントラセン溶液の反応は、戸外、ガラス板下、アクリル複層板下で異なり、特にガラス板下では、反応が小さくなることを示している。

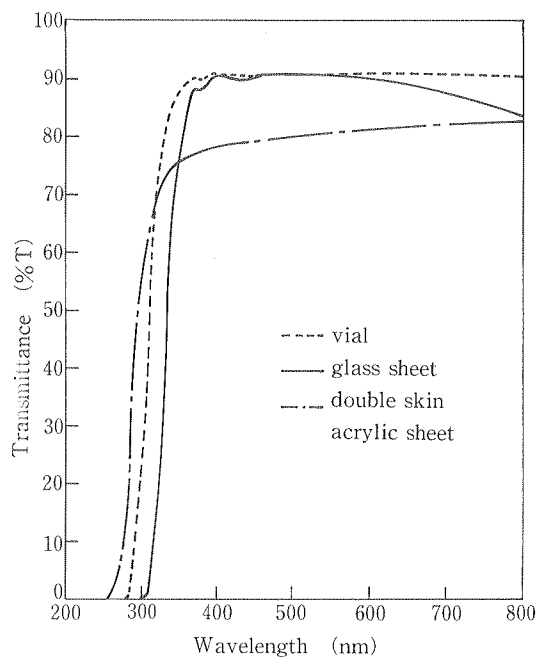


Fig. 5. Transmittance spectra of materials used in the experiment.

5. 被覆資材下でのアントラセン溶液の反応について
各被覆資材下で求めた露光日射量と、露光後のアントラセン溶液の吸光度との関係を Fig. 6 に示した。光化学

反応は、いずれの場合でも(2式)に従う回帰直線が得られた。アントラセンの光化学反応は、アクリル複層板で大きく、ガラス下では小さかった。

各被覆材下で同じ測定を繰り返し行い、(2式)の傾きAを求めた (Table 1)。回帰直線の傾きは、同一資材下でも測定により多少異なったが、いずれの場合も負の相関係数は高かった。被覆資材下での傾きの戸外の傾きに対する比率は、ガラスの場合で70~90%、アクリル被層板では、90~120%であった。

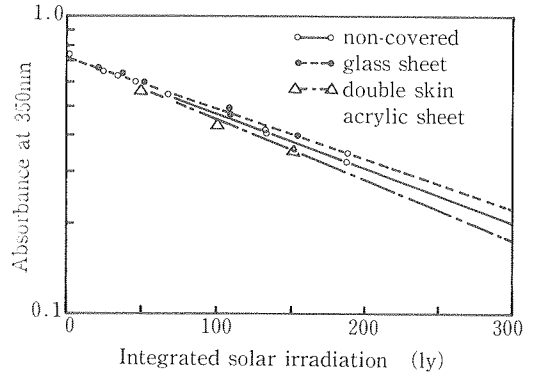


Fig. 6. Correlation between the integrated solar irradiation and the absorbance of anthracene-ethyl alcohol solution under covered and non-covered condition.

Table 1. Slopes of standard curve between absorbance and integrated solar irradiation under different covering materials

DATE	Slope of standard curve							
	outside		under glass sheet			under double skin acrylic sheet		
	slope	r	slope	slope under glass sheet/outside (%)	r	slope	slope under double sheet/outside (%)	r
1987. 1. 17	-0.00236	-0.997	-0.00200	85	-0.997	—	—	—
1. 19	-0.00229	-0.999	-0.00191	83	-0.998	-0.00222	97	-0.999
1. 20	-0.00237	-0.996	-0.00212	89	-0.997	-0.00239	101	-0.996
1. 21	-0.00210	-0.998	-0.00144	69	-0.997	-0.00193	92	-0.999
2. 25	-0.00211	-0.996	-0.00168	80	-0.994	-0.00261	124	-0.997
3. 25	-0.00182	-0.997	-0.00166	91	-0.997	-0.00200	110	-0.998
3. 27	-0.00184	-0.979	-0.00161	88	-0.991	-0.00211	115	-0.995
3. 31	-0.00172	-0.994	-0.00148	86	-0.992	-0.00182	106	-0.990
4. 8	-0.00231	-0.993	—	—	—	-0.00255	111	-0.997
MEAN	-0.00210	-0.994	-0.00174	84	-0.995	-0.00220	107	-0.996

r : coefficient correlation

IV 考 察

1. アントラセン溶液の日射に対する反応について

露光させたアントラセン溶液の吸光度の対数と、積算日射量は比例し、(2式)で表わされる。この式に基づきアントラセンの吸光度から日射量が計算できる。アントラセン溶液の吸光度は、Fig. 4 でみられるように、積算日射量が 400 ly 以上になると 0.1 以下になる。それ以上露光をしても溶液中のアントラセン量が少なくなっているために、反応は鈍くなり測定の誤差も大きくなる。ここで述べた方法を利用する限り、最大 450~500 ly までの積算日射量での測定が限界と思われる。

三輪ら⁶⁾は、シュウ酸ウラニル法の測定にあたって、受光管の角度と太陽高度との関連を考慮したが、鴨田ら²⁾

は、受光管を垂直にしても相関は成り立つと報告している。今回の実験でも受光管は、スクリー管を使い、垂直に吊り下げて日射量を測定したが、負の相関係数はいずれも 0.95 以上と高く、測定に充分用いることができる回帰直線が得られた。

実測に当たっては、回帰直線を求める基準に農試電試式日射計を使用していることに注意しなければならない。農試電試式日射計は、農業面では広く日射量測定センサーとして使用されているが、直達光の測定を中心にしており、散乱光の測定は考慮されていない。一方、アントラセン法のスクリー管は、上部は蓋があるために真上からの光は通さないが、側面・下面はすべて光を受け光化学反応を起こす形状である。

厳密に比較をすればアントラセン受光管の下面から受

ける反射光を農試電試日射計では捕らえられないため、地面に反射板などが置いてある温室や、散乱光が多い栽培施設内で日射量を測定する場合には、回帰直線の算出に当たってアルベドに対する考慮が必要となる。

一般的に、光化学反応の温度依存性は低いとされており、また今回の実験でもアントラセンの光化学反応は、温度が測定中に変化する条件で測定しても、回帰直線は常に高い相関係数を持っており、温度による影響は少ないと思われる。

2. アントラセン法による、温室内部の日射測定法について

Fig. 2 に示したように、アントラセンの光化学反応は、紫外線波長域の光で起こされる。従って、本法を用いて温室内部の日射量を測定する場合は、被覆資材の紫外線透過特性を考慮しなければならない。ここで使用した厚さ 3 mm のガラス板と、スクリー管のガラスでは紫外線透過特性は異なり、反応の速度は戸外とガラス下で異なった。

アクリル複層板の下での反応が進んだのは、農試電試式日射計は、光がアクリル複層板を通過するときに生ずる散乱光に対する感応が弱く、日射量を少なく検出したために、アントラセンの反応が進んだように現れた事が 1 つの原因として考えられる。

1 温室内部での受光量分布状態を相対的に求めるには、露光したアントラセン溶液の吸光度の対数値のみを比較すればよい。しかし温室内部の日射量の絶対値を求めるには、回帰式の係数が測定の度ごとに若干異なるために、温室内部で回帰式を毎回求めなければ正確な値は算出できない。しかし、温室内部は、母屋、垂木、梁、等の骨材やカーテン資材など影を作るものが多く、積算日射量測定用の日射計と、アントラセン溶液の入った、スクリー管 10 数本が、同一状態で影を受けるように設置するのは困難であり、回帰直線の信頼度も低下する。

また、骨材等の影の影響を避ける方法として、温室と同一資材の一枚板を戸外に設置し回帰直線を求める方法もあるが、現地で測定する場合は一枚板の設置も困難であるし、使用できる日射計の数も限られる場合が多い。

従って温室内部の日射量を簡易に求める方法として Table 1 で求めた各回帰直線の傾きの平均値より、戸外で求めた回帰直線(2)式の傾き A に、温室内部では 0.84 を、アクリル複層板温室では 1.07 をそれぞれ乗ずれば、ほぼ各温室内部の回帰直線として使用することができる。この傾きの比率は Table 1 に示したように、幅があるために平均値である上記の係数を用いるには、やや問題はあ

れば、簡易に温室内部の積算日射量を多点測定することができ現地での測定には有効な方法と考えられる。

V 摘 要

1. 温室内部で積算日射量を簡易に多点測定できる、アントラセン・エタノール溶液法について検討した。
2. アントラセン溶液は、紫外線波長域での吸光度が高く、350 nm とその前後に 5 つのピークを持ち、反応は主に紫外線で起こされる。
3. アントラセン溶液に露光した積算日射量と、アントラセン溶液の 350 nm における吸光度の対数は、高い負の相関があり、関係は次式で表すことができる。

$$\log_{10} D = A \cdot I + B$$

D : 露光したアントラセン溶液の吸光度

I : アントラセン溶液に露光した積算日射量

A・B : 定数

4. アントラセン法の光化学反応は戸外に比べてガラス板下で小さく、温室内部の積算日射量を正確に求めるには、ガラス被覆資材下で、回帰直線を別々に求める必要がある。
5. アントラセン法で、温室内部のおおよその日射量を簡便に測定する場合、戸外で日射量との回帰式(3.で示した式)を求めその傾き A に、ガラス温室では 0.84、アクリル複層板温室では 1.07 を乗ずればほぼ各温室内部での回帰直線になり、簡易に日射量が測定できる。

引用文献

- 1) HAGIWARA A., NINOMIYA I. and HOZUMI K. (1982). Evaluation of the light climate in a *Chamaecyparis obtusa* plantation by a chemical light-meter. J. Jap. For. Soc. 64 : 220~228.
- 2) 鴨田福也・内藤文男・高橋良郎 (1977). 構造・方位を異にする大型温室内部の光分布. 農業気象学会東海支部会誌 33 : 71~74.
- 3) 古在豊樹 (1970). 温室内部の日射量に関する研究(1). 農業気象 26 : 7~14.
- 4) ——— (1972). 温室内部の日射量に関する研究(2). 農業気象 27 : 27~37.
- 5) ——— (1974). 温室内部の構造と透過光量に関する理論的解析. 農業気象 30 : 33~41.
- 6) 三輪 智・木村 進 (1972). シュウ酸ウラニル法による栽培施設内部の日射測定に関する研究. 静岡農試研報 17 : 84~89.
- 7) 関 春夫 (1987). 光化学反応の解析. 新実験化学講座 反応と速度 (安盛岩雄 編). 丸善 : 457~476.

Measuring integrated amount of daylight in the greenhouse
with anthracene-ethyl alcohol actinometers

Nobuyuki SATO and Susumu KIMURA

Summary

This experiment was carried out to study the method of measuring the solar irradiation in the greenhouse with the anthracene-ethyl alcohol actinometer which was able to measure easily the amount at many points simultaneously.

The absorption spectrum of the anthracene in ethyl alcohol had five peaks around 350nm wavelength of light.

There was a negative linear correlation between the logarithm of the absorbance of the anthracene-ethyl alcohol solution at 350nm and the integrated solar irradiation.

The correlation is expressed as follows :

$$\text{Log } D = A \cdot I + B$$

Where D=absorbance of anthracene-ethyl alcohol solution exposed to sunlight, I=the integrated solar irradiation calculated from the changes in absorbance of anthracene-ethyl alcohol solution, and A and B= constant.

Rates of reaction to the transmitted light through glass or double skin acrylic sheet were different from that to the direct sunlight.

Though the regression line should be made for each covering materials to get absolute amount of integrated light, the anthracene-ethyl alcohol actinometer was very useful to measure the distribution of integrated light in a greenhouse.