

量子収率の測定 (VI)

— 光量子センサーのよみが検定光源のスペクトル分布が変わることによる誤差について —

九州大学農学部 吉田 瑞樹
福岡大学理学部 高 千尋

1. はじめに

我々⁶⁾はトウモロコシの量子収率を測定してきたが、我々の結果と1982年 Monsonらの結果と Ehleringer and Peacyの結果とは数字的に50%まじから100%まじの結果を得た。これらの結果を表-1に示す。

すなわち Monson等のトウモロコシ場合を抜粋して示す。また Ehleringer and Peacy, Mcreeの結果も同時に示す。Monsonら⁴⁾と Ehleringer and Peacyら²⁾1982年以後の研究者たちは、光センサーに LiCor (ライカー)社 Li-190S型の光量子センサーを使っておりトウモロコシの場合0.053の値を量子収率として発表している。

Macree (1972)³⁾は、モノクロメーターで照射光を単色光化した後エア・サーモパイルで光強度を測り、これで、光合成速度を測り、しかる後に量子収率を求めている。トウモロコシの場合、0.080の値を620nmの波長で求めている。

我々の場合⁶⁾光強度は、YSI65Aで求め光源の波長別エネルギーをタングステン・ランプを基準にして Planckの公式により求め、これで検出系の波長特性を求め、光源の波長エネルギースペクトルについて、得られたデータを補正する。

光センサーに入る波長はこのセンサーに感度のある波長以内に制限する。これより1nmごとのエネルギーが判れば各波長のフォトン数は計算できる。この光エネルギーを入射光の、波長の全てについて和を取ると、これは全入射光入力で割ることにより入射光1W当たりのフォトン数を計算できる、こうして求めたフォトン数と光量子センサーから直接求めたフォトン数とを比較した図を、図-1に示す。

2. 光量子センサー

アメリカのライカー社によって考案された光量子センサーは、光合成有効波長の光量子数で既知の光源で検定されたもので出力はフォトン数に比例した電流を発生する。しかしこれはこの波長域内で各波長のエネ

ルギーの分布があまり変化しないことを前提に考えられて居り、これが著しく変わればこの検定作業は意味がなくなる。ここら辺を議論したい。原理は、 ε をフォトン1個が持つエネルギーとすると $\varepsilon = h\nu$ である。この光の波長を λ とすると $\nu = c/\lambda$ 、 $\varepsilon = hc/\lambda$ で与えられた波長の光のエネルギーを E 、1個のフォトンのエネルギーを ε とすると、フォトン数 N_p は次のように与えられる。 N_p/ε 、すなわち、SPDにこのような波長特性を持つものを使い、入射波長を400nm-700nmの波長範囲にフィルターを使い制限する。このセンサーは検定されて光源の波長エネルギー分布と変わらなければ正しいフォトン数を与える。

3. 検定の方法

Planck (1901)⁹⁾によると温度 T の黒体は単位面積から放射される波長毎のエネルギーは

$$E(\lambda) d\lambda = \frac{2\pi hc^2 d\lambda}{\lambda^5 [\exp(hc/k\lambda T) - 1]} \quad (1)$$

ここに h は Planckの定数、 k はボルツマン定数で、実際に光のエネルギーの波長分布が変わった時、光量子センサー LI190SAの持つ理想的応答特性にこの光を当てた時どのような応答をするかを黒体の温度 T を与え、波長毎のエネルギー分布を変えた時の応答がどうなるかを考えてみよう。そのため図2に示すように4600Kから5600Kまでの黒体の放射する輻射の波長特性を計算してファイルを創る。これに理想的な応答関数400nmより700nmのほうが、1.75倍大きい一次関数のかつ400nm-700nmの間だけ応答するものを考える。この応答関数 $R(i)$ に実際に入力 $E(i)$ をかける。積の和を400-700nmの間でとったものが応答であり、これを光量子センサーの出力に対応させる。

$$\text{応答} = \sum_{400}^{700} R(i) \times E(i) \quad (2)$$

これを実際に比較するには、なんらかの手段で規格化 (Normalization) する必要がある。一つの方法として入力した光合成有効波長域内のエネルギーで規格化

Mizuki YOSHIDA (Fac. of Agr. Kyushu Univ., Fukuoka 812)

Tihiro TAKA (Fac. of Sci. Fukuoka Univ., Fukuoka 814-01)

The determination of quantum yield of *Zea mays* (VI)

On the error of quantum sensor by changing the energy distribution of the light source

する方法がある。これで規格化して黒体の温度に対してプロットしたのが図-3である。ごくあたりまえの結果を得ている。つまり1Wの光で低温の放射のほうが赤色部の成分が多くなり低温のほうがフォトン数が多い。我々が計算した応答のほうも多く出ている。今回出力を応答関数の積の和を定義してみても1W当たりの光入力に対しての出力を見てみた。図-3に示すような程度は、説明が出来た。この方法で図-1に示すような光量子センサーの特性を説明できないかを、現在検討中である。

表-1 量子収率φの測定結果のまとめ

光合成速度の測定結果：透過率・反射率の新しい方法による測定 (Since 1990. 6)

測定日	材料と透過率等のF名	1W当たり吸収したフォトン数	勾配 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{W}$	光強度の範囲	量子収率φ
1991年 7月 2日播種					
910806	Zea maysG	$1.5628 \cdot 10^{18}$	0.263903	0-73W/m ²	0.1037
910808	Zen maysG	$1.33381 \cdot 10^{18}$	0.192676	0-73W/m ²	0.0870
910809	Zen maysP	$1.58902 \cdot 10^{18}$	0.18600	0-78W/m ²	0.0705
910812	Zen maysP	$1.4632 \cdot 10^{18}$	0.204429	0-78W/m ²	0.0841
1991年 7月 18日播種					
910819	Zea maysG	$1.37811 \cdot 10^{18}$	0.188642	0-73W/m ²	0.0824
910820	Zea maysP	$1.48712 \cdot 10^{18}$	0.190376	0-78W/m ²	0.0771
910824	Zea maysG	$1.41829 \cdot 10^{18}$	0.222708	0-73W/m ²	0.0946
910826	Zea maysP	$1.5351 \cdot 10^{18}$	0.18856	0-78W/m ²	0.0740
910906	Zea maysG	$1.38228 \cdot 10^{18}$	0.208354	0-73W/m ²	0.0909
1992年 7月 11日播種					
920817	Zea maysP	$1.65903 \cdot 10^{18}$	0.24458	0-49W/m ²	0.0887
Monson et al.: Photosynthetic Res 1982 (2) 153-159よると 21%: 340ppmCO ₂ , 2%: 340ppmCO ₂					
トウモロコシ		φ=0.054	φ=0.056		
光強度検出器	光量子センサー	Li-Cor:Li-190S			
J. Ehleringer and Robert Pearcy: Plant Physiol.: 73 (1983) 555-559 トウモロコシ φ=0.054 光強度検出器 光量子センサー Li-Cor:Li-190S					
K. J. McCree : Agrc. Meteorology 9 (1972) 191-216 トウモロコシ φ=0.08 at 620nm 光強度検出器 Eply社 Air Thermopile					
Olle Bjorkman and Barbara Demmig : Planta 170 (1987) 489-504 トウモロコシ φ=0.0564 光強度検出器 光量子センサー Li-Cor:Li-190S					

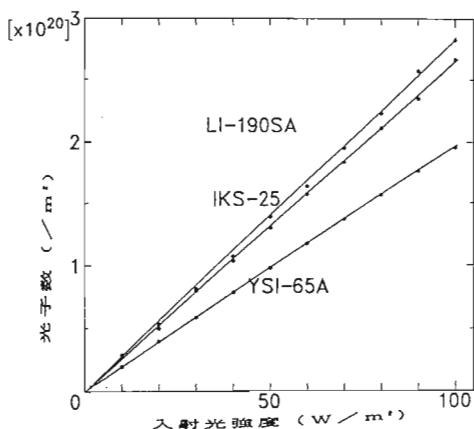


図1 光強度を YSI65A で計りそれぞれの光強度をかえて光量子センサーでフォトン数を計ったもの。

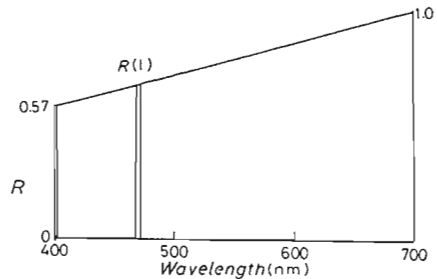
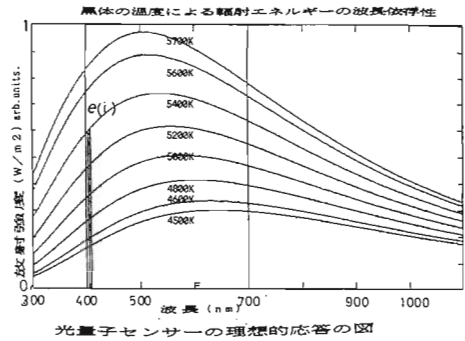


図-2 光量子センサーの理想的波長応答特性と仮想的温度での黒体の放射特性を示す。光量子センサーの応答を計算した方法を同時に示す。

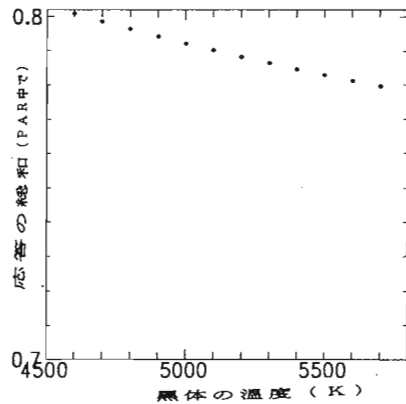


図-3 図-2に示す応答特性を持つセンサーに黒体の温度を変えた時に1Wの輻射を照射した時、の応答の総和と黒体の温度との関係を示す。

引用文献

- (1) Bjorkmann, O and Demmig, B. : Planta 170 489 - 504, 1987
- (2) Ehleringer, J. and Pearcy, R. : Plant Physiol. 73, 555 - 559, 1983
- (3) McCree, K. J. : Agrc. Meteorology 9 191 - 216, 1972
- (4) Monson R, Littlejohn Jr, R and Williams, G : Photosynthesis Reserch 3. : 153 - 159, 1982
- (5) Planck, M. : Ann. Physik 4, 553 - 563, 1901
- (6) 吉田瑞樹・角秀敏・日高弘幸・田辺稔明：日林論 101, 355 - 358, 1990