

農業用被覆資材下における日射量, 照度, 光合成有効光量子束密度の透過特性

細川桂子・ポンサアヌティン ティーラサク・鈴木晴雄

Transmission Characteristics of Solar Radiation, Illumination intensity, and Photosynthetic Photon Flux under Agricultural Covering Materials

Keiko HOSOKAWA, Teerasak PONGSA-ANUTIN and Haruo SUZUKI

Abstract

This experiment examined the relationships among solar radiation, illumination intensity, and photosynthetic photon flux under agricultural covering materials. Transparent polyethylene (Tp), purple polyethylene (Pp), black cheese-cloth (Bc), and black polyethylene (Bp) were tested from May 8 to September 24, 2005. For period average of solar radiation transmission, vertical relationship was $Tp > Bc \approx Pp > Bp$. For transmission of illumination intensity and photosynthetic photon flux, relationships were $Tp > Bc > Pp > Bp$. Transmission of illumination intensity and photosynthetic photon flux were slightly lower than transmission of solar radiation, except for purple polyethylene. Maximum, minimum, and standard deviation (SD) values of the transmission during the period showed results similar to the average values. For transmission of all types of light, variation coefficients of Bp were noticeably higher than those of other materials. Among other materials, however, there were few differences. Relationships among different types of light under covering materials showed high correlations, except for black polyethylene. Relationships among solar radiation, illumination intensity, and photosynthetic photon flux under agricultural covering materials varied depending on covering materials, measurement times of day, and measurement points. Experiment results clearly demonstrated that examining the measurement conditions is important when mutually converting among the types of light.

Key words : Illumination intensity, Photosynthetic photon flux, Solar radiation, Transmission.

1. はじめに

露地や施設での栽培において農業用被覆資材が広く多量に用いられている。この資材下における光量と光質は光合成に大きく影響し、生育にとって重要な要因である¹⁾。通常、栽培現場での光の測定は、日射量、照度、光合成有効光量子束密度のいずれかについて行われている²⁾。従来は日射量又は照度を用いた報告が多かったが、光合成との関係を見るために最近では光合成有効光量子束密度の測定が多く行われつつある。これら日射量、照度、光合成有効光量子束密度はそれぞれ測定の方法が異なるが、互いに関係があるために変換することが行われている³⁾。

しかし、これら光要因間の変換には問題がある。照度が同じでも、波長700nm以上の近赤外部に差があると日射量は異なり、さらに可視光域では赤色光(660nm前後)

の割合に差があると光合成有効光量子束密度とは異なってくる。各栽培現場で光を測定する場合、資材の種類や日射条件によって各光の関係は変化すると考えられる。

これらのことから、被覆資材下における光要因の測定には、期間中の光条件や測定方法からより明確にする必要があると考えられる。本実験では、数種の被覆資材下においてそれら光要因を測定し、各被覆資材下における透過特性について検討した。

2. 実験方法

実験は香川大学農学部(N34°16'17", E134°7'39")において、2005年の5月8日から9月24日にかけて行った。

2.1 供試資材

本実験では代表的なマルチ用資材である透明ポリ (Tp), 紫色ポリ (Pp), 黒色ポリ (Bp) と, 遮光用資材である黒色寒冷紗 (Bc) を供試資材とした (Table 1).

Table 1 Test covering materials.

Symbol	Use	Raw materials			
Tp	Mulch	Polyethylene	Transparent	0.02mm thick	16.1g/m ²
Pp	Mulch	Polyethylene	Violet	0.02mm thick	21.7g/m ²
Bp	Mulch	Polyethylene	Black	0.02mm thick	18.2g/m ²
Bc	Shade	Vinylon	Black	# 6 0 0	56.3 g/m ²

2.2 測定方法

1) 日射量

a. 測定装置

被覆資材を木製の枠 (90 cm×90 cm) に展張し, 6台の日射計を用いて測定を行った. 2台は無被覆下に, 4台は各々の被覆下に設置した. 被覆下の日射計は, 被覆資材と日射計受光部との距離が10 cmになるように保ち, 日射計から見た視野角が120°以上になるようにした⁴⁾. 無被覆下の1台は遮蔽バンド (英弘精機産業, MB-11) を取り付け, 散乱日射量を測定した. 被覆下の散乱日射量は, 日射計の受感部上10~15 cmからディスク (径5 cm, 黒塗) で直達日射を遮蔽し, ディスクの影が完全に受感部を覆うようにして測定した. なお, これらの直達日射量は全天日射量 - 散乱日射量として求めた. ロガーによる記録は, 連日午前8時から午後4時まで1分間隔で行った.

b. 透過率の算定

露地設置の日射計の感度定数を標準とし, 他の日射計5台との比較を行って感度定数を調整した. 次に散乱日射量については, 12時頃の全天日射の測定において4分間の遮光を行い, 算定は日射計の時定数を考慮して遮光開始1分目と遮光終了後1分目のデータは使用せずに, 遮光開始2~4分間を遮光時の日射量 (散乱日射量) とした. この散乱日射量の算定時における全天日射量は, 遮光前3分間と遮光終了後3分間の日射量を平均して同日射量とした.

なお, 測定値については日射透過率が100%以上の場合とマイナスの場合を異常値とした⁵⁾. 異常値部分の補間については, 異常値測定前後の平均値を用いて補正して行った.

2) 照度と光合成有効光量子束密度

a. 測定装置

日射量と同時に照度と光合成有効光量子束密度の測定を行った. 測定にはそれぞれ照度計 (ミノルタカメ

ラ, T-1) と光量子センサー (タスコジャパン, TMS-870H) を用いた. これらのセンサーは被覆下 (枠内設置日射計) と無被覆下 (露地設置日射計) に設置した. 測定は雨天時を除く週6日の割合で, 午前11時30分から午後1時までの間に行った.

b. 透過率の算定

照度透過率は, 無被覆下の照度に占める被覆下の照度の割合とした. 光合成有効光量子束密度 (以降, 光量子と記述) の透過率も照度透過率の場合と同様に求めた.

3. 結果および考察

3.1 日射量, 照度, 光合成有効光量子束密度の透過率

3.1.1 透過率の推移

測定期間中 (2005年5月20日 - 7月25日) における日射, 照度, 光合成有効光量子束密度の各透過率の推移について検討した.

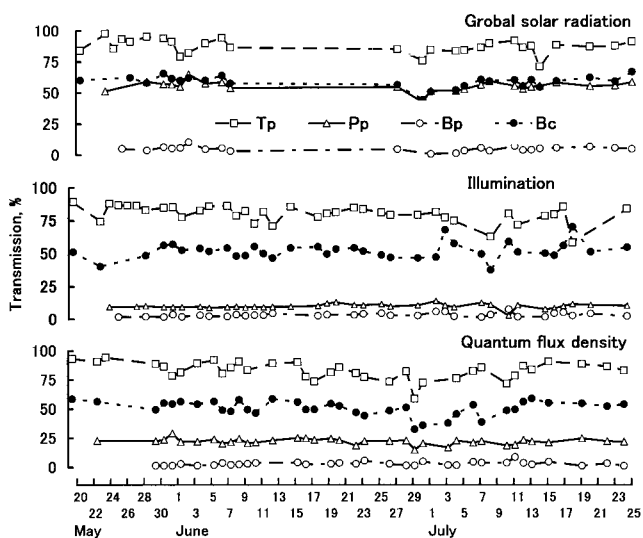


Fig. 1 Seasonal variations of transmissions of global solar radiation, illumination and quantum flux density from May 20 in 2005 to July 25 in 2005.

Fig. 1によると, 日射透過率では透明ポリ (Tp) が最も高く71~98%で推移し, 紫色ポリ (Pp) では43~65%, 黒色寒冷紗 (Bc) では45~67%, 黒色ポリ (Bp) は最も低く0.7~10%で推移した. 期間中の透過率の高低関係はTp>Bc≒Pp>Bpの順となった.

照度透過率では, 透明ポリが58~89%, 紫色ポリが3~14%, 黒色寒冷紗は38~70%, 黒色ポリは2~8%で推移した. 日射透過率の場合と比較すると, 透明ポリ, 黒色寒冷紗, 黒色ポリでは若干低かったが, 期間中の傾向は日射透過率の場合と概ね一致した. これは全天日射量と照度がほぼ一定の比例関係⁴⁾にあるためと考えられ

た。

紫色ポリでは日射透過率よりも40~50%ほど低くなったが、これは本実験で用いた紫色ポリは波長選択性フィルムであるため、特に可視光域の透過率を0~40%に抑制することによる⁶⁾。他方、照度計は波長域が400~700 nmであることから、フィルムの光透過の抑制が可視光域に集中することも関係するとみられた。

光量子透過率について透明ポリは59~94%，紫色ポリは15~29%，黒色寒冷紗は33~59%，黒色ポリは1~9%で推移した。紫色ポリ以外の透過率は日射透過率の場合と比べて若干低かったが同程度であり、また照度透過率とほぼ同様な結果となった。紫色ポリでは30%前後の低下がみられた。

以上、日射透過率は期間中、 $Tp > Bc \approx Pp > Bp$ の高低関係で推移し、照度と光量子透過率は $Tp > Bc > Pp > Bp$ の関係で推移した。

3.1.2 期間平均値

各資材の光透過率の推移について、期間の平均値、最高値、最低値、標準偏差、変動係数を求め、Table 2に表した。

Table 2 Mean value of each transmission (%) of global solar radiation, illumination and quantum flux density under four covers from May 20 in 2005 to July 25 in 2005.

	Cover material	Mean	Max	Min	S.D.	C.V.
Global solar radiation	Tp	87.5①	97.8①	71.3①	5.8①	6.7④
	Pp	55.5③	64.9③	42.6③	4.1③	7.4③
	Bp	4.9④	10.3④	0.7④	2④	39.7①
	Bc	58.8②	67.1②	44.6②	4.8②	8.1②
Illumination	Tp	80.6①	89.4①	58.4①	6.5①	8.1④
	Pp	10.1③	14③	2.9③	1.7③	17.3②
	Bp	3.3④	7.7④	1.6④	1.4④	41.7①
	Bc	52②	70.4②	37.6②	6.1②	11.7③
Quantum flux density	Tp	83.2①	94.2①	58.9①	7.4①	8.9④
	Pp	22.2③	29.2③	15③	2.5③	11.3③
	Bp	3④	8.7④	1.3④	1.6④	51.8①
	Bc	50.8②	59②	32.7②	6.4②	12.7②

日射透過率：期間平均値は、透明ポリ(87.5%)>黒色寒冷紗(58.8%)>紫色ポリ(55.5%)>黒色ポリ(4.9%)の順となり、この順位は既報^(1,5,6,7)の場合と同様であった。最大値、最小値もこの平均値と同じ順位となった。

標準偏差について資材間の差は僅少であった。平均値に対して2.0~5.8%のバラツキ(標準偏差)を示し、大きな変化はみられなかった。

変動係数について透明ポリ、黒色寒冷紗、紫色ポリで

は6.7~8.1%であったのに対し、黒色ポリでは39.7%と高く生じた。これは透過性の低い資材ほど、資材を張り付けた木枠部隙間からの透過光の影響が相対的に大きくなったためと考えられた^(5,7)。

照度透過率：照度透過率の期間平均値は、透明ポリ(80.6%)>黒色寒冷紗(52.0%)>紫色ポリ(10.1%)>黒色ポリ(3.3%)の順となり、日射透過率と比較すると、透明ポリ、黒色寒冷紗、黒色ポリでは日射透過率より1.6~6.9%ほど低く、紫色ポリでは45.4%ほど低くなった。この理由は前述(3.1.1)したように、紫色ポリが波長選択性フィルムのためである。

最大値と最小値はともに $Tp > Bc > Pp > Bp$ の順となり、日射透過率の場合と同じであった。標準偏差は、日射量の場合と同様に1.4~6.5%の範囲となり、フィルム間の差は僅少であった。

変動係数は黒色ポリ(41.7%)>紫色ポリ(17.3%)>黒色寒冷紗(11.7%)>透明ポリ(8.1%)であり、透過率の低い資材ほど大きく、また全般的に日射透過率の場合よりも大きくなった。これは照度計の時定数が日射計よりも小さいので、天候の変動をより直接的に受けたためと考えられた。

このように照度の透過率は、紫色ポリ以外の資材では全天日射透過率の場合と同様の傾向を示したが、バラツキは若干大きく、透過率の安定性は低く示された。

光量子透過率：光量子透過率の平均値は $Tp(83.2%) > Bc(50.8%) > Pp(22.2%) > Bp(3.0%)$ の順で、全天日射透過率の場合と同じ順位であった。また、紫色ポリでは全天日射透過率に比べて低い値が得られた。

最大値、最小値、標準偏差、変動係数は、それぞれ日射透過率の場合と同じ順位であった。特に変動係数については、各資材ともに照度透過率の場合と同様に日射透過率より値が大きくなった。これは光量子計の時定数が日射計より小さいためとみられた。

以上、日射、照度、光量子透過率の各期間平均値は、透明ポリ(Tp)>黒色寒冷紗(Bc)>紫色ポリ(Pp)>黒色ポリ(Bp)の順となった。変動係数は、照度と光量子の方が日射透過率より高くなった。

3.2 透過率と気象条件

3.2.1 相関関係

気象条件を主に天空状態として全天日射量、散乱比、太陽高度、雲量によって表し、各要因と透過率との相関関係を求めた(Table 3)。

Table 3 Correlations between light transmission and some meteorological factors measured from May 20 in 2005 to Jul. 25 in 2005.

	Covering materials ¹⁾	Solar radiation ²⁾	Ratio ³⁾	Sun altitude	Cloud amount
Global solar radiation	Tp	0.399	-0.342	-0.310	-0.325
	Pp	0.534	-0.281	-0.383	-0.287
	Bp	0.606	-0.666	-0.472	-0.186
	Bc	0.660	-0.485	-0.577	-0.445
Illumination	Tp	-0.286	-0.107	0.087	0.069
	Pp	0.752	-0.459	-0.053	0.057
	Bp	0.776	-0.726	-0.018	-0.306
	Bc	0.123	-0.214	0.137	-0.067
Quantum flux density	Tp	0.909	-0.696	-0.418	-0.471
	Pp	0.685	-0.393	-0.126	-0.393
	Bp	-0.049	0.246	0.527	0.271
	Bc	0.858	-0.708	-0.354	-0.560

1) Symbols were the same as in Table 1.

2) Global solar radiation.

3) Ratio was (sky solar radiation) / (global solar radiation).

*: Significant at 5% level, **: Significant at 1% level.

Table 4 Standard partial regression coefficients in the relations between light and some factors from May 20 in 2005 to Jul. 25 in 2005.

	Covering material	Solar radiation	Ratio	Sun altitude	Cloud amount	Multiple regression coefficient
Global solar radiation	Tp	0.422				0.377
	Pp	1.128	1.126	-0.227	-0.550	0.772
	Bc	0.926	0.636	-0.367	-0.278	0.780
	Bp			-3.970	-0.504	0.687
Illumination	Tp	-1.361	-1.750		0.583	0.750
	Pp	1.383	0.732			0.811
	Bc		-1.155		1.110	0.554
	Bp	0.510			-0.359	0.777
Quantum flux density	Tp	0.932		-0.286	0.241	0.941
	Pp	1.343	0.764			0.749
	Bc	0.858				0.847
	Bp			0.472		0.404

日射透過率: Table 3 の日射透過率では, 透明ポリと紫色ポリは日射量との間で正の相関関係 (Tp:0.399*, Pp:0.534*) がみられ, 黒色寒冷紗では日射量から雲量までの要因間で, 黒色ポリでは雲量を除いた要因とで, 各々相関関係が得られた. 各資材を通じて日射量が増加すると日射透過率が高くなる関係が示された.

照度透過率: 紫色ポリでは日射量 (0.752*) とで, 黒色ポリでは日射量 (0.776*) と散乱比 (-0.726*) 間で相関関係がみられたが, 透明ポリと黒色寒冷紗ではいずれの要因間とも関係がみられなかった. 透明ポリと黒色寒冷紗の照度透過率では, 日射条件の一要因のみによる影響は小さかった.

光量子透過率: 透明ポリと黒色寒冷紗では, 日射量から雲量まですべての要因との間で有意な相関関係が得られ, 紫色ポリでは日射量 (0.685**), 黒色ポリでは太陽高度 (0.527*) のみで関係がみられた.

光量子透過率は, 黒色ポリ以外の資材では雲量が少なく, 全天日射量が増加するほど透過率が高くなった.

以上, 各透過率と日射条件に相関関係はみられたが, 資材によって関係する要因は異なった.

3.2.2 気象条件の影響

各資材下の日射, 照度, 光量子の各透過率には日射量, 散乱比, 雲量, 太陽高度の各要因が複合的に影響していると考えられた. そこで, 各透過率と気象条件について検討するため, 重回帰分析を行った (Table 4). 目的変数には各資材の各透過率, 説明変数に日射量, 散乱比, 雲量, 太陽高度の各要因を用いた. 変数選択法として増減法を用いた.

日射透過率: Table 4 の日射透過率において, 透明ポリでは日射量 (0.422) のみを変数として選択されたが, 紫色ポリと黒色寒冷紗ではすべての要因が選択された. 黒色ポリでは散乱比 (-3.970) と太陽高度 (-0.504) が選択された.

重相関係数は透明ポリが0.377, 紫色ポリでは0.772, 黒色寒冷紗では0.780, 黒色ポリでは0.687であったが,

透明ポリを除いていずれの資材も高く（約0.700以上）、気象条件による影響は大きいとみられた。

照度透過率：照度透過率の場合、透明ポリでは太陽高度以外のすべての要因が選択された。紫色ポリでは日射量（1.383）と散乱比（0.732）、黒色寒冷紗では散乱比（-1.155）と雲量（1.110）、黒色ポリでは日射量（0.510）と雲量（-0.359）が変数として選択された。

透明ポリを日射透過率の場合と比較すると、散乱比と雲量の変数として選択され、重要な要因の一つとなっているとみられた。

雲量は紫色ポリを除くすべての資材で選択された。雲量との相関係数は照度透過率では極めて低かったが、雲量は他の要因と複合的に照度透過率に影響を及ぼしたとみられた。

光量子透過率：透明ポリでは散乱比以外が変数として選択され、紫色ポリでは日射量（1.343）と散乱比（0.764）が、黒色寒冷紗では日射量（0.858）が、黒色ポリでは太陽高度（0.472）のみが変数として選択された。黒色ポリ以外では日射量が選択され、日射量による影響が大きいことが示された。

重相関係数は各資材を通じて0.404~0.941となり、日射透過率の場合と比較すると透明ポリの重相関係数が高くなり、気象条件が重要な要因であることが示された。

以上、日射、照度、光量子透過率ともに、日射量が透過率の高低に影響する大きな要因であることが示された。

3.3 日射量、照度、光合成有効光量子束密度間の関係

測定期間中における各資材下の日射量、照度、光合成有効光量子束の3要因間の関係を、Table 5に示した。

日射量－照度：無被覆下の場合、日射量と照度は直線関係にあり、黒色ポリを除いて相関係数は全体的に高かった。黒色ポリ下で相関係数が低かったのは、日射量と照度ともに黒色ポリ下で変動係数（日射量：39.7%、照度：41.4%）が非常に高く、不安定であったためと考えられた。

各回帰式の勾配は、無被覆>透明ポリ>黒色寒冷紗>紫色ポリの順に小さくなった。照度透過率が低い資材ほど、日射量と照度間の直線勾配が小さくなる傾向が得られた。なお、紫色ポリの勾配が小さくなったのは、同フィルムが波長選択性であるためと考えられた⁶⁾。

日射量－光量子：日射量と光量子間では、すべての資材下において日射量の増加に伴って光量子は増加し、高い相関関係がみられた。

各資材下の関係は、無被覆（268.9）>透明ポリ（251.7）>黒色寒冷紗（228.7）>紫色ポリ（101.6）>黒色ポリ

Table 5 Relation between global solar radiation, illumination and quantum flux density from May 20 to July 25 in 2005.

	Plot	Equation	r
Global solar radiation - Illumination	(No cover)	$Y_I = 1.42 \times 10^5 X_G$	0.983
	Tp	$Y_I = 1.32 \times 10^5 X_G$	0.962
	Pp	$Y_I = 1.35 \times 10^4 X_G$	0.988
	Bp	$Y_I = 5.63 \times 10^4 X_G$	0.168
	Bc	$Y_I = 1.19 \times 10^5 X_G$	0.966
Global solar radiation - Quantum flux density	(No cover)	$Y_Q = 2.68 \times 10^2 X_G$	0.974
	Tp	$Y_Q = 2.52 \times 10^2 X_G$	0.916
	Pp	$Y_Q = 1.02 \times 10^2 X_G$	0.912
	Bp	$Y_Q = 7.08 \times 10^1 X_G$	0.816
	Bc	$Y_Q = 2.29 \times 10^2 X_G$	0.998
Illumination - Quantum flux density	(No cover)	$Y_Q = 1.90 \times 10^{-3} X_I$	0.989
	Tp	$Y_Q = 1.90 \times 10^{-3} X_I$	0.948
	Pp	$Y_Q = 4.00 \times 10^{-3} X_I$	0.918
	Bp	$Y_Q = 1.10 \times 10^{-3} X_I$	0.552
	Bc	$Y_Q = 1.90 \times 10^{-3} X_I$	0.982

Y_I : Illumination, X_G : Global solar radiation, Y_Q : Quantum flux density, X_I : Illumination

(70.8)の順に直線勾配が小さく、透過率の低い資材ほど勾配が小さくなる傾向がみられた。

照度－光量子：照度と光量子間の関係では、黒色ポリ以外の各被覆資材下で高い相関関係がみられた。透明ポリと黒色寒冷紗は、無被覆下とほぼ同一直線上にあったが、これは照度と光量子がほぼ同じ波長域（400-700 nm）を測定³⁾しているためと考えられた。紫色ポリの場合、露地の2倍以上に勾配が大きくなった。

以上、日射量、照度、光合成有効光量子束密度間の各関係は、黒色ポリ下を除いたすべての資材で高い相関関係がみられた。

4. 結 論

日射量、照度、光合成有効光量子束密度間の関係は、黒色ポリ下を除いたいずれの資材も高い相関関係がみられた。日射量と照度間では、透過率が低い資材ほど照度の増加勾配が小さく、日射量と光合成有効光量子束密度間では、透過率が低い資材ほど光合成有効光量子束密度の増加勾配が小さかった。照度と光合成有効光量子束密度間では、透明ポリと黒色寒冷紗下の場合、無被覆下とほぼ同じ傾向となり、紫色ポリ下では光合成有効光量子束密度の増加勾配が露地の2倍以上となった。このように、資材ごとに各光間の関係は異なった。

McCree⁸⁾は露地での日射量、照度、光合成有効光量子束密度間の換算について報告している。しかし、本実験結果から、被覆資材下では資材ごとに光要因間の関係

の変化することが明らかとなった。光要因間の変換を画一に行うことには問題のあることが判明したが、極端に低い透過率の資材を除いて、同一条件で長期間の測定を行えば、換算における問題は小さくなるようにみられた。

なお、全天日射の波長組成を3年間連続観測した実験が、札幌、岐阜および那覇の3ヵ所で行われた⁽⁹⁻¹¹⁾。それによると、波長組成は季節的・地理的にも変化する。本実験は香川県にて2005年5月から9月にかけて行ったものであり、季節的・地理的な影響は直接比較できなかった。今後の課題として、それら季節的・地理的要因が及ぼす影響についても明らかにすることが必要と考えられた。

摘 要

本実験は、農業用被覆資材下において日射量、照度、光合成有効光量子束密度の各光の関係を明らかにするこ

とを目的とした。供試資材は、透明ポリ (Tp)、紫色ポリ (Pp)、黒色寒冷紗 (Bc)、黒色ポリ (Bp) とし、測定は2005年5月8日から9月24日にかけて行った。

各透過率の高低順位は、日射透過率の期間平均では $Tp > Bc \approx Pp > Bp$ 、照度と光量子透過率では $Tp > Bc > Pp > Bp$ の順となった。照度と光量子の透過率は日射透過率の場合と比較して、紫色ポリ以外の資材では若干低かった。各透過率の最大値、最小値、標準偏差については平均値と同様の結果が得られた。変動係数は各透過率ともにBpが顕著に高く、その他の資材ではほとんど差がみられなかった。各資材下の各光の各関係は、黒色ポリ下を除いて相関関係は高かった。

本実験結果から、農業用被覆資材下の日射量、照度、光合成有効光量子束密度間の関係は、資材の種類や測定時刻、測定地点によって異なった。各光間の相互の変換を行うには、各々の測定条件を考慮することが重要であると考えられた。

引 用 文 献

- 1) 鈴木晴雄, 大呂肇: 農業用被覆資材の日射透過率に及ぼす日射条件の影響. 日本砂丘学会誌, 39 (2), 20-26 (1992).
- 2) 村岡裕由, 可知直毅: 光と水と植物のかたち. pp.319, 文一総合出版, 東京 (2003).
- 3) 濱壽孝弘: 照度 (日照), 日射量, 光合成有効放射量の違い. 東北の農業気象, 41, 33-36 (1997).
- 4) 日本農業気象学会編: 農業気象の測器と測定法. pp.228-229, 農業技術協会, 東京 (1997).
- 5) 友光美帆, ティーラサク ポンサアヌティン, 鈴木晴雄: 被覆資材の日射透過率における異常値出現と気象条件. 香川大学農学部学術報告, 60, 1-7 (2008).
- 6) 安藤真美, 鈴木晴雄, ティーラサク ポンサアヌティン, 奥田延幸, 松井年行: 農業用被覆資材の日射透過率と測定条件, 日本砂丘学会誌, 51 (1), 13-26 (2004).
- 7) 鈴木晴雄, 土屋淳子, デュムロンキティキューレ スラポン: 農業用被覆資材における日射透過率の長期変化. 香川大学農学部学術報告, 50 (2), 57-68 (1998).
- 8) McCree, K.J.: Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology*, 10, 443-453 (1972).
- 9) Iwasaki, T., Okuyama, T., Sakuratani, T.: Climatic estimation of photosynthetically active radiation (PAR) in Kanto and Tokai districts. *Bull. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci*, 1, 1-35 (1985).
- 10) Oba, K., Kobayashi, K.: Spectral characteristics of solar radiation at Miyakonojo. In "Seasonal and Geographical Changes of Solar Radiant Energy". MAFF. Tokyo, pp.168-175 (1985).
- 11) Sakuratani, T.: Diurnal and seasonal changes in solar spectral radiation at Kannondai, Tsukuba. *Bull. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci.*, 1, 37-50 (1986).

(2009年10月31日受理)