

光調節被覆資材の特性と作物の生育調節

野菜・茶業試験場久留米支場 高市 益行

1. はじめに

光質が植物の生育にいろいろな影響を及ぼすことは古くから知られていた。近年、光合成に有効な波長域の放射をあまり減少させずに、赤色／遠赤色光比を変化させる被覆資材が開発され、光質変化による生育調節の実用化の研究が活発になってきた。光質による生育調節は、温度管理(DIF)による生育調節と同様に、環境にやさしい生育調節法の1つとして

期待されている。また、長期展張性フィルムが開発され、施設の高温期の遮熱対策の要望が高まり、近赤外線カットフィルムなどの開発が進められている。ここでは、このような光スペクトルを調節する被覆資材について、植物への影響、温度環境への影響、実用上の問題点などについて概説する。

光調節被覆資材は、光量の調節、日長の制御、

光質の調節などに用いられる。光は多量の熱源であるので、光を調節すると熱環境にも影響が生じることに留意しておく必要がある。光調節被覆資材を合理的に利用するためには、①自然における光・熱環境の特徴、②各種資材の吸収・透過スペクトル、③植物の光・温度に対する反応特性の3つを把握することが重要である。

2. 自然における光・熱環境

表-1 光調節被覆材の利用目的および方法

(目 的)	(用 途)	(利 用 資 材)
光量の調節	遮光 高温抑制 光量分布の均一化 光量増加	遮光ネット、寒冷紗、白色塗料 近赤外線カット資材、遮光資材 光拡散性資材(梨地、補給繊維) 反射板など
日長の制御	花芽形成	シェード用資材
光質の調節	病虫害軽減 植物の形態調節 光合成の促進	UVカット資材 R/FR調節資材 光質変換(蛍光)資材

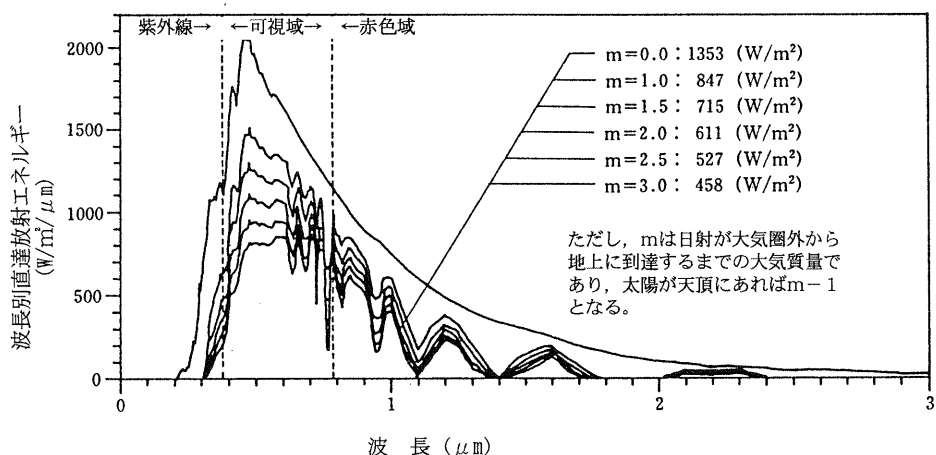


図-1 直達日射の波長別エネルギーの分布

資材を透過した光の特性を知るには、まず、自然光の特性を知ることが最も基本である。太陽放射（日射）は波長がおよそ300～3,000nmの範囲にわたる。光は波長が短いほど粒子性が強く、光子1個のもつエネルギーが高い。このため、紫外線など波長の短い領域では熱的作用とともに化学的作用が強い。波長が長い赤外線では、主として熱的作用だけになる。

植物の光合成には波長が約400～700nmの領域が利用する（光合成有効放射，PAR）。全日射エネルギーの約半分がPARである。植物の光形態形成には、紫外線から波長800nmあたりまでの光が有効である。植物の光形態を検討する場合には、とくに紫外線、青色、赤色／遠赤色について、それぞれの強度や割合が重要である。植物は約800nm以上の波長の光を直接利用しないので、これにより長波長側では熱的作用のみを考慮すればよい。

太陽光は直進光（方向性があり影ができる）の部分と散乱光（曇天）の部分に分けられる。太陽の直進光の波長別エネルギー分布を図-1に示す。 m は大気質量(optical air mass)とよばれ、光が大気中を通過する距離の指標で、真上から大気を透過する場合が1である。太陽放射は大気圏外($m=0$)では比較的滑らかな形であるが、大気を通過すると酸素や二酸化炭素などられる。太陽高度が低く m が増加すると、全波長域でエネルギーが減少するが、特に短波長側（青色域）での吸収が多くなって、最大エネルギーとなる波長は長くなる。

散乱光のスペクトルは直達光に比べて青色側（短波長側）にピークがあり、太陽高度、方位、雲量、大気混濁度によって変化する。直達光では太陽高度が低くなると、散乱により青色成分

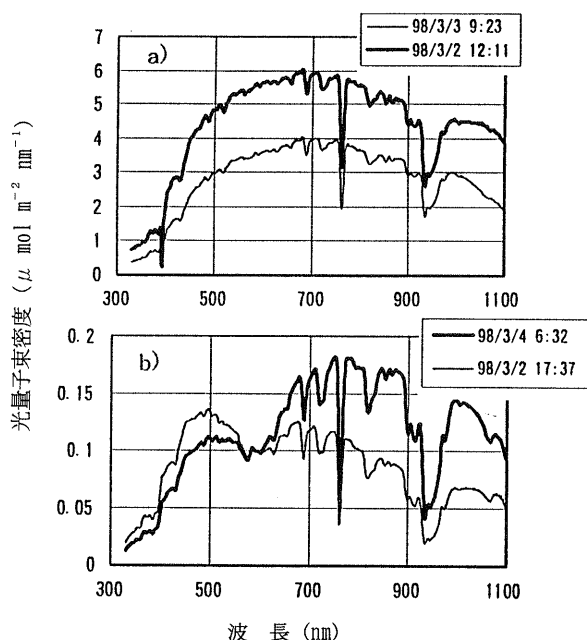


図-2 自然光のスペクトルの時刻による変化
(愛知県武豊町, Li-1800で測定)

が減少して赤色成分が増加する。ところが、散乱光では太陽高度が多少低くなっても青色成分の変化は少ない。その結果、太陽高度が15度以上では、全体のスペクトルの形はあまり変化しない。また、曇天では晴天の場合より短波長成分が多くなるが、その違いはわずかである。

太陽光のスペクトルの時刻変化の観測例を図-2に示す。太陽光のスペクトルを光子束密度で表現すると、エネルギー表現とは異なって、明瞭なピークのないだらかな山型を呈する。午前9:23と昼12:11のスペクトルは形が似ている(図-2a)。太陽高度の低い6:32(日の出直後)と17:37(日入り頃)のデータでは(図-2b)、図-2aと大きく形が異なっている。6:32のデータには、直達光が当たりはじめた時刻で、700～900nmあたりにピークがある。17:37のデータは、直達光が非常に弱く、ほとんど散乱光のみの状態であった。このように太陽高度が低い場合には、太陽光のスペクトルの形は昼間とはかなり異なる。

被覆資材を透過した光のスペクトルは、太陽光のスペクトルに波長別の透過率を掛けたものになる。植物が活発に光合成を行っている時間帯には、太陽光のスペクトルの形はあまり変化しないことが知られている。しかし、朝方や夕方にはスペクトルの形が異なるので、弱光でも反応する植物の光形態形成や日長反応には密接に関わってくるので、十分注意する必要がある。

被覆資材の光透過特性として、波長別透過率の図が利用されることが多い。これはたいていのカタログに記載されている。しかし、植物に対する被覆資材の効果を評価する際には、自然光のスペクトルにその資材の分光透過率を掛けた、透過光のスペクトルについて検討する必要がある。

そのためには基準となる自然光のスペクトルデータが必要である。これには、日本工業規格(JIS)に定められた測色用の光D65が利用できる。D65は色温度が6500Kであることを意味している。D

65として示されているのは、560nmを100とした波長別エネルギーの相対的な分布である。これに波長を掛けると、光量子束密度の相対分布が得られる。標準の光D65と、標準の光に準ずるD75およびD55のスペクトルを図-3に示す。筆者らの観測結果や文献をみると、D65よりややピークが長波長側にずれた、D55に近い分布型となる場合が多いようである。D65などのデータを利用すると、分光分布を測定しなくても各種資材の自然光透過スペクトルの違いがわかり、植物への影響を検討することができる。

なお、大気や地面、地上の物体などは、太陽

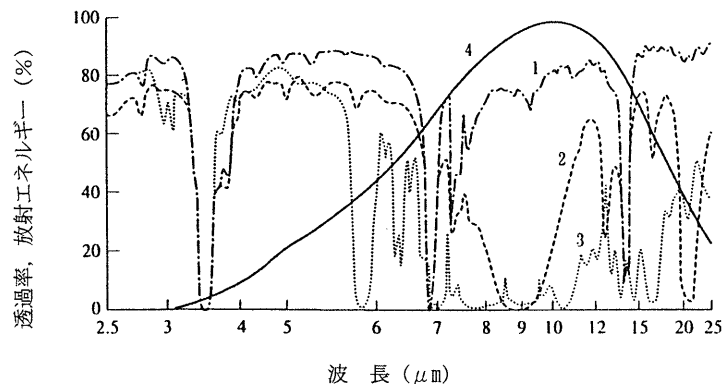


図-4 15℃黒体放射のスペクトルとフィルムの分光透過率
(1: ポリエチレン, 2: PO系, 3: PVCフィルム, 4: 15℃黒体放射)
(厚さ0.1mm; 稲田, 1984)

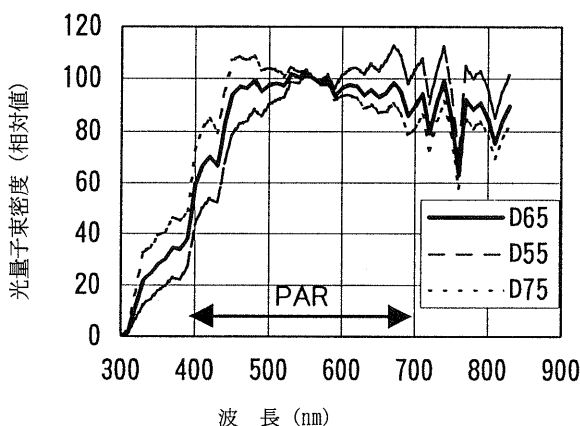


図-3 標準の光のスペクトル分布(LI8720)

に比べて表面温度が低いので、その表面からの放射は赤外域になる(長波放射)。これは昼夜を通じて放射されているが、夜間には温度環境に重要な役割を果している。このため、被覆資材の夜間の保温性については、赤外線透過特性が重要になる。図-4にいくつかの資材の長波放射透過率と、15℃の黒体からの放射スペクトル(プランクの法則による)を示す。夜間の保温性を評価する場合には、地面の温度に応じた長波スペクトルのカーブに資材の波長別透過

率を掛けるとよい。地面などから射出される赤外放射は、およそ6-20 μ mのあたりで大きなエネルギーを持つので、この付近の透過特性が保温性能にとって重要である。

3. 光調節被覆資材と透過スペクトル

光調節資材を大まかに分類すると、表-1のように、光の量を調節するための資材、日長の調節用の資材、光質調節用の資材に分けられる。近年、機能性被覆資材として、近赤外線カット資材、光質調節資材の開発・改良が進められている。

(1) 光量調節用の資材

観葉植物や野菜の施設栽培では、高温期には遮光することが多い。寒冷紗などの遮光用資材は一般に、光レベルを全波長にわたって同程度の割合で低下させるものが多い(図-8参照)。観葉植物では、光量の低下と高温抑制の両方を目的にして遮光するが、野菜の果菜類などでは、本来は光量を低下させたくないが、被覆内が高温になりすぎるためにやむなく遮光している。

遮光率が大きくなると、ふつう、被覆内の気温や地温は低下する。しかし、内部温度には換気が大きく影響するので、光透過の低い遮光資材であっても、密閉状態になると、被覆内はかなり高温になる。

直達光を散乱させて施設内の光分布の均一性を増すための資材は、散光性資材と呼ばれる。散光性のガラスやFRA板などの透過率の入射角特性を見ると(図-5)、通常の資材より散光性

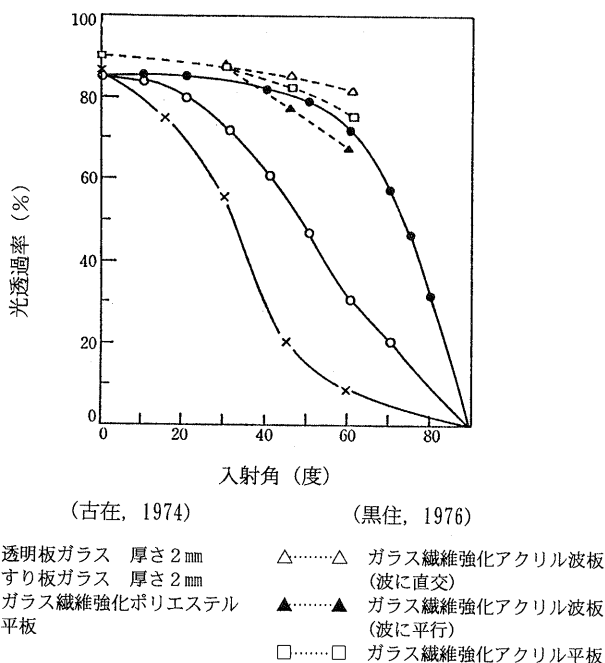


図-5 被覆資材の入射角別透過率 (古在, 1977)

資材の方が透過率の低下が著しくなっている。このような散光性資材の光透過のスペクトル特性や入射角特性に関するデータは少なく、散光性資材の長所・短所と利用法についてはさらに検討する必要がある。

(2) 昇温抑制用資材 (熱線遮断資材)

高温期の昼間の昇温を抑制するためには、光合成有効放射をあまり低下させずに、植物が利用しない800nmから2.5 μ mの近赤外線を吸収・

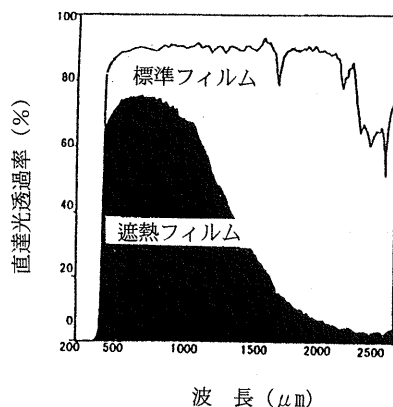


図-6 熱線遮断フィルム (PET) の光透過率 (島地ら, 1998)

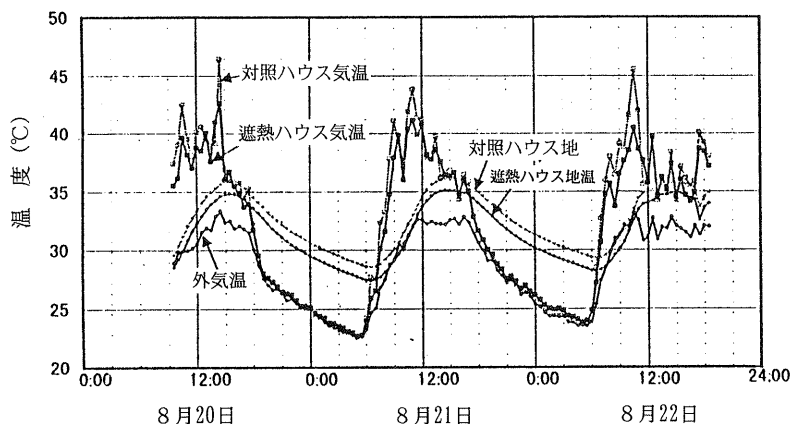


図-7 遮熱フィルムハウスの気温・地温の変化

反射させると都合がよい。このような資材として、金属をコーティングしたPETフィルムや、フィルムを二重ガラスの間に挟み込んだもの、この領域を吸収する色素を混ぜたフィルムなどが開発されている。近赤外線をカットするタイプの資材は、PPFD（光合成有効光量子束密度）透過率が60～70%程度で、やや低下が大きい。

近赤外域をカットするPETフィルム（試作品）の光透過率を図-6に、それを小型実験ハウスの外張りに用いた場合の室内温度の測定例を図-7に示す。遮熱フィルムハウスでは、気温・

地温ともに低くなっている。近赤外線がカットされると、葉面の蒸散要求度が小さくなり、水ストレスが緩和される。また、被覆内の作業者の熱負荷が小さくなり、作業環境も改善される。なお、冬季の低日射期には、この資材は地温確保に不利であるが、換気調節でカバーできる程度であろう。しかし、低いPPFD透過率は生

育にマイナス効果を与えるとみられ、その改善が望まれる。

このタイプの資材では、近赤外線に隣接する赤色光や遠赤色光の透過割合が変化することがあるので、植物の形態形成に関わる場合には注意が必要である。

(3) 植物生育調節用資材

1964年から1983年にかけて、研究法人「農業の光線選択利用技術研究組合」が設立され、着色フィルムとランプの開発、これらの作物への影響について、膨大な試験が組織的に行われた。

これらの研究結果は、稲田（1994～97）にまとめられている。

青色、赤色、黄色などに着色した資材を用いて、水稻をはじめ、各種植物の生育におよぼす影響が調べられた。青色や赤色によって草丈伸長などが変化することがわかった。しかし、多くの場合、着色による光量低下に伴って乾物重が劣った。これらは生育調節用フィルムとしては実用化に至っていない。

近年、植物の赤色光／遠赤色光比(R

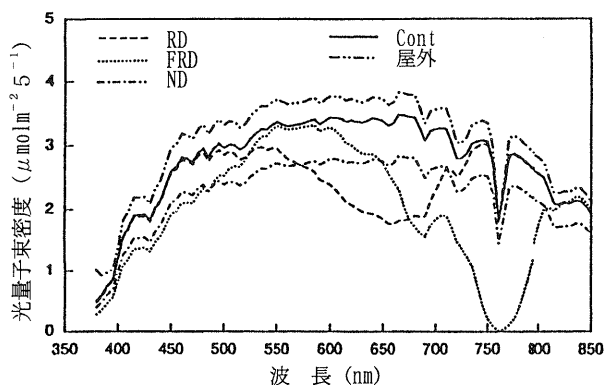


図-8 R/FR調節資材（PMMA）を用いた生育キャビネット内の分光スペクトル（高市ら，1996）
RD：赤色減少，FRD：遠赤色減少，
ND：透明板＋白寒冷紗，Cont：透明板

/FR)の反応を利用して、これを変えることで植物の生育を調節しようとする被覆資材が開発された(村上ら, 1995)。図-8はR/FRを変化させる着色アクリル資材で作製した生育キャビネット内の分光スペクトルである。PPFDをあまり低下させずに赤色域(600~700)。遠赤色域(700~800nm)の比を大きく変える色素が添加されている。アクリル板のほかにP0系フィルムも試作されており、各地の研究機関で栽培試験が行われている。草丈に対しては顕著な調節効果が得られ、ホルモン剤を用いない伸長調節法として期待されている。

蛍光を利用したフィルムについては、すでに1970年頃より試験がおこなわれていた(赤色蛍光フィルム)。しかし、この時代の蛍光の変換効率は悪く、赤色域でのエネルギーの増強はみられたが、光合成有効放射全体での減少が著しく、実用化には至らなかった。最近、不織布を用いた赤色蛍光フィルムが開発され、波長変換フィルムあるいは光質変換フィルムと呼ばれている。これは昔と比べると蛍光の変換効率が高く、光合成有効放射の減少も小さく抑えられている(図-9)。各地で試験が行われているところで、結果の蓄積が期待されている。

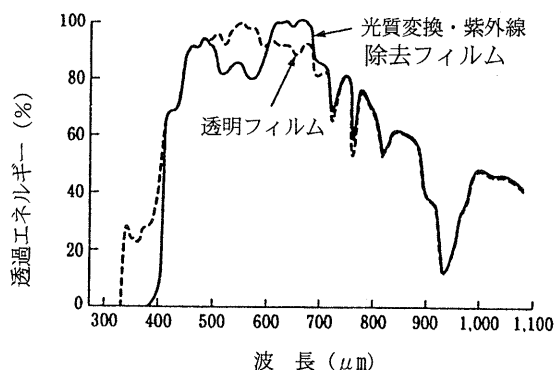


図-9 自然光下における光質変換・紫外線除去フィルムの分光分布(P0系, 0.1mm厚)
(住友化学工業, 1995; 稲田, 1997)

なお、これらの植物生長調節用のフィルムは、色素の耐候性が弱く、長期間使用すると効果が消失する問題がある。しかし、育苗期に限るなど用途を絞った短期間の使用であれば、問題はないであろう。

4. 光調節被覆資材と温度環境

光質関係の一連の研究結果から稲田(1997)は、着色フィルムをトンネル被覆した場合の温度変化については、淡色フィルムでは気温や地温の差は小さいこと、濃色フィルムではフィルム自体が高温になるため被覆内気温はあまり低下しないこと、十分に換気されている場合には、温度の低下は2℃以内であること報告した。昼間のこの程度の温度差は、換気量の調節で自由に変更できる範囲である。

実際の施設においては、施設の構造や方位、季節や時刻の推移に伴う入射角の変化によって日射透過率は大きく異なるし、また、被覆内面の結露による光透過率の低下や、資材の汚れなど、施設内の透過率に関わる要因は多い。これらの影響はかなり大きいので、データの解釈や実際の利用場面では、これらに注意する必要がある。

5. おわりに

紫外線カットフィルムについては、植物の生育促進や病害虫の軽減効果があり、実用段階に入っており、価格的にも各種製品が利用できる状況にある。

R/FR調節資材については、筆者らも、草丈変化の反応が顕著であること、効果の発現が早く処理終了後の残留効果がほとんどないこと、完全に密閉された空間でなくても妻面の開放されたトンネルで

も処理が可能であることを確認している。ホルモン剤を用いない生育調節法の1つとして将来が期待される。一方、光質変換蛍光フィルムについては、効果がまだ判然としておらず、実用化にはさらにデータを蓄積していく必要がある。これらの植物生長調節用の資材は耐久性が比較的短いので、導入の際には経済効果を十分に検討すべきである。

散光性資材の有効性については、いまだに不明な点が多く残されている。メーカーや研究機関での詳細な解析を期待したい。

近赤外線カットフィルムは、将来の施設園芸の必需品と思われるが、現在の資材ではまだPPFD透過率が低いものが多く、さらに改良が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 稲田勝美：着色フィルムの被覆は作物に有効か？(連載記事) [1] - [33], 農業及び園芸, Vol. 69 - Vol. 72 (1994-1997).
- 2) 古在豊樹：被覆資材と光, 施設園芸の環境と栽培, 位田藤久太郎編, 誠文堂新光社, 47-52 (1977).
- 3) 村上克介：光の測定法, アグリビジネス, 10 (41), 73-81 (1995).
- 4) 村上克介・中村 立・児玉邦雄・崔 海信・相賀一郎：自然光の赤色光/遠赤色光光量子束比を変化させる植物成長制御用被覆材の開発
(1)被覆材の設計, 生物環境調節, 33, 31-36 (1996).
- 5) 日本工業規格協会, JIS8720, 測色用の標準の光および標準光源, 39光学, 日本規格協会 (1997).
- 6) 島地英夫・鈴木親久・高市益行・東出忠桐：遮熱資材がハウス内の温度環境と作物の生育に及ぼす影響, 日本生物環境調節学会1998年大会講演要旨, (1998).
- 7) 高市益行・島地英夫・東出忠桐・山根 武・村上克介：自然光の赤色光比の調節がメロン苗の育成におよぼす影響, 日本農業気象学会東海支部会誌, 54, 23-27 (1996).
- 8) 戸荻義次：光質研究覚え書 (1)-(5), 農業技術, 第39巻, 87, 127, 178, 223, 280 (1983).
- 9) 内嶋善兵衛：III-1, 耕地の放射状態, 新編農業気象ハンドブック, 養賢堂, (1976).

最新 除草剤・生育調節剤解説 1998年版

企画・編集／財団法人 日本植物調節剤研究協会
B5判 285頁 本体5,000円(税別)

ジャンボ剤、フロアブル剤、1キロ粒剤など最近の水田除草剤16剤。畑地・非農耕地除草剤5剤。水稻倒伏軽減剤1剤について、特長、使い方、性質、試験成績などを解説。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665